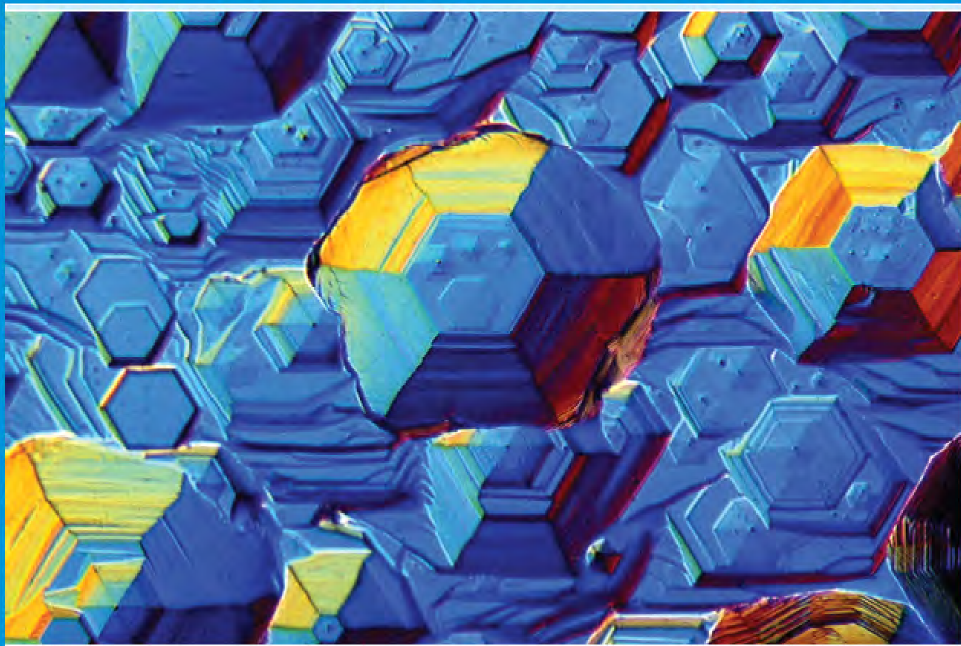
Prof. univ. dr. ing.
Ioan-Lucian BOLUNDUȚ

ȘTIINȚA SI INGINERIA MATERIALELOR



Editura Tehnica - Info
Chișinău, 2010

Prof.univ.dr.ing. **Ioan-Lucian BOLUNDUȚ**

ŞTIINȚA ŞI INGINERIA MATERIALELOR

Moto:

Nu destăinui prietenului tău toate secretele vieții tale;
se poate prea bine ca într-o zi să-ți devină duşman.
Nu fă duşmanului tău tot răul pe care i-l poți face;
se poate prea bine ca într-o zi să-ți devină prieten.

Sa‘adī (c.1215 – 1292) – poet persan

EDITURA TEHNICA – INFO
CHIŞINĂU, 2010

Referenţi ştiinţifici:

Prof.univ.dr.ing. ***Sorin DIMITRIU***
Universitatea *„Politehnica”* din Bucureşti
Prof.univ.dr.ing. ***Dragoş PARASCHIV***
Universitatea Tehnică *„Gheorghe Asachi”* din Iaşi
Prof.univ.dr.ing. ***Alexandru MARIN***
Universitatea Tehnică a Moldovei din Chişinău

Descrierea CIP a Camerei Naţionale a Cărţii

Ştiinţa şi Ingineria Materialelor: */ Ioan-Lucian Bolunduţ [et al.];*

- *Ch.: „Tehnica – Info” SRL, 2010 – 300 p.*

ISBN: 978-9975-63-313-0

CZU 620.22(075.8)

B 66

250 ex.

Redactor: Sociolog **Camelia Lăcătuşu**
Tehnoredactare computerizată: Conf.univ.dr.ing. **Iosif Dumitrescu**
Sociolog **Camelia Lăcătuşu**
Coperta: ing. **Cornel Chirilă**

THE SCIENCE AND ENGINEERING OF MATERIALS

Solid materials have been conveniently grouped into three basic categories: metals, ceramics and plastics. This scheme is based primarily on chemical make up and atomic structure and most materials fall into one distinct group or another, although there are some intermediates. In addition, there are the composites, combinations of two or more of the above three basic material classes.

Metallic materials have the general characteristics of good electrical and thermal conductivity, relatively high strength, high stiffness, ductility or formability and shock resistance. Although pure metals are occasionally used, combinations of metals called *alloys* are normally designed to provide improvement in a particular desirable property or permit better combinations of properties.

Plastics are produced by creating large molecular structures from organic molecules, obtained from petroleum or natural gas and have low electrical and thermal conductivity, low strenghts and are not suitable for use at high temperatures. Plastics are lightweight and frequently have resistance to corrosion.

Ceramics have poor electrical and thermal conductivity. Although ceramics may have good strenght and hardness, their ductility, formability and shock resistance are poor. Consequently, ceramics are less often used for structural or load-bearing applications than metals. Many ceramics have excellent resistance to high temperatures and certain corrosive media and have a number of unusual and desirable optical, electrical and thermal properties.

Composite materials are formed from two or more materials, producing properties that cannot be obtained by any single material. With composites we can produce lightweight, strong, ductile, high temperature-resistant materials that are otherwise unobtainable, or produce hard yet shock-resistant cutting tools that would otherwise shatter.

CONTENTS

PREFAȚĂ

Ştiința şi ingineria materialelor tratează probleme interdisciplinare, implicând proprietățile materiei şi aplicațiile ei în diverse domenii ale ştiinței şi ingineriei şi folosind cunoştințe de fizică aplicată, chimie, inginerie mecanică şi electrică. După apariția, în ultimii ani, a nanoştiințelor şi nanotehnologiilor, ştiința materialelor a fost propulsată în avangarda multor universități de prestigiu din lume.

Cunoştințele oamenilor despre materiale încep odată cu olăritul, dezvoltându-se din epoca pietrei în cea a bronzului şi apoi a oțelului. Ştiința materialelor moderne s-a dezvoltat din metalurgie, iar metalurgia din minerit. Dacă la începutul secolului XX ea se ocupa doar de metale, pe la jumătatea acestui secol ea a inclus şi materialele plastice şi ceramice, iar mai recent şi pe cele compozite.

Principalele materiale utilizate în industrie sunt cele *metalice*. Dintre acestea, aliajele feroase (fontele şi oțelurile) reprezintă circa 90%, restul de 10% fiind metale şi aliaje neferoase. Fonta se elaborează în furnal şi din cauza conținutului mare de carbon este dură şi fragilă şi nu se poate utiliza în această stare. Proprietățile sale mecanice se pot îmbunătăți prin adăugarea unor elemente care transformă grafitul lamelar în grafit nodular (Mg, Si, Ca, Ba), precum şi prin aplicarea unor recoaceri de maleabilizare sau prin aliere cu diverse elemente (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, Al, Cu). Oțelul conține mai puțin carbon şi are proprietăți mecanice bune. Creşterea conținutului de carbon conduce la creşterea durității şi a rezistenței la rupere, dar şi la scăderea ductilității şi a tenacității. Prin aliere cu peste 10% crom, nichel şi molibden, devine inoxidabil.

Metalele şi aliajele neferoase sunt mai scumpe şi mai rare şi se utilizează în domenii care reclamă proprietăți fizico-mecanice sau chimice speciale. Unele dintre ele sunt foarte vechi şi au avut o importanță mare în dezvoltarea societății umane. Astfel, bronzul a fost descoperit în jurul anului 3500 î.Hr. în Mesopotamia şi Sumer şi a avut o asemenea importanță încât mileniul al doilea î.Hr. se mai numeşte în istorie şi *epoca bronzului*. Mai aproape de vremurile noastre s-au descoperit aliajele aluminiului, titanului şi magneziului, apreciate pentru greutatea redusă şi rezistența ridicată şi folosite pe scară largă în construcțiile aerospațiale şi în industria automobilelor.

Materialele plastice au fost descoperite în secolul trecut şi astăzi au ajuns să le depăşească, în greutate, pe cele metalice datorită unor proprietăți favorabile: sunt ieftine şi uşoare, rezistente la oxidare şi coroziune şi permit modificarea proprietăților prin folosirea unor aditivi. Unele se pot recicla prin solubilizare sau topire, iar aplicațiile lor acoperă aproape toate domeniile activității umane, de la banalele pungi pentru cumpărături şi jucării, până la conductele subterane de apă şi gaze care le înlocuiesc treptat pe cele metalice. Reciclarea materialelor plastice este foarte importantă, având în vedere faptul că peste 90% din acestea provin din petrol şi gaze naturale – materii prime valoroase şi din ce în ce mai deficitare. Ca urmare, prin reciclare nu se urmăreşte doar prelucrarea deşeurilor, ci şi utilizarea unor tehnologii avansate, bazate pe folosirea microundelor de diferite frecvențe, care

sparg lanțurile de hidrocarburi ce alcătuiesc materialele plastice şi cauciucul sintetic, obținându-se țiței brut şi gaz metan.

Principalele materiale plastice sunt polietilena, polipropilena, policlorura de vinil, polistirenul, poliamida, poliesterul, poliuretanul şi policarbonatul. Ele se prelucrează prin diverse procedee tehnologice (presare, injecție, extrudare, expandare, calandrare, sudare, lipire, ştanțare, aşchiere), dar nu se pot utiliza la temperaturi mai mari de circa 200 ^{o}C.

A treia categorie de materiale utilizate în tehnică o constituie grupa *materialelor ceramice*. Ceramica utilitară a apărut odată cu omenirea, vasele şi cărămizile fiind primele produse obținute de om, prin arderea argilei. Din aceasta s-a dezvoltat apoi ceramica de artă care s-a îndepărtat de funcția utilitară şi s-a centrat pe valoarea decorativă şi estetică. Pe la mijlocul secolului trecut a apărut ceramica industrială, ca urmare a dezvoltării industriilor de vârf care utilizează materiale pe bază de oxizi, carburi, nitruri, boruri şi diverse forme de carbon.

Materialele ceramice sunt dure şi rezistente la uzură şi la temperaturi ridicate, iar sursele de materii prime din care provin sunt practic nelimitate. Folosirea lor este limitată de fragilitate şi de rezistența scăzută la tracțiune. Ele se utilizează la fabricarea unor materiale de construcții (cărămidă, țiglă, teracotă, faianță, gresie) sau de artă (porțelan, mozaic), precum şi în domeniul industrial (scule aşchietoare, electrotehnică şi electronică, izolații termice, aplicații tribologice şi medicale). Prin dozarea corespunzătoare a constituenților, îndeosebi a pământurilor rare, ceramicele pot fi izolatoare electrice, semiconductoare, conductoare sau chiar supraconductoare. De altfel, pentru cercetări în domeniul supraconductibilității materialelor ceramice s-au acordat câteva Premii Nobel. Printre aplicațiile de vârf ale ceramicii industriale se menționează rulmenții ceramici care funcționează fără ungere şi implanturile ceramice care înlocuiesc oase ale scheletului uman.

Materialele compozite sunt alcătuite dintr-o osatură încorporată în masa unei matrice. Primul compozit utilizat a fost lemnul, un compozit natural, iar mai târziu, betonul şi betonul armat. Carcasele de televizor şi telefoane mobile sunt şi ele confecționate din materiale compozite, având o matrice termoplastică armată cu particule de cretă şi talc şi cu fibre tocate de sticlă sau de carbon.

Materialele de ranforsare pot fi sub formă de particule, fibre sau plăci, iar matricele sunt de natură plastică, metalică sau ceramică. Procedeele de prelucrare sunt foarte variate (formare manuală, turnare, laminare, presare, înfăşurare), ținând cont de natura materialului matricei şi de configurația armăturii.

Ştiința şi ingineria materialelor este deci o disciplină complexă care studiază proprietățile, structura şi domeniile de aplicare ale celor patru mari categorii de materiale. Din această disciplină s-au desprins recent alte ramuri ştiințifice: nanotehnologia, microtehnica, biomaterialele, tribologia şi ceramografia.

Cartea se adresează studenților profilurilor tehnice care au în programa de învățământ *Ştiința şi ingineria materialelor*, dar este utilă şi inginerilor, tehnicienilor, proiectanților şi cercetătorilor din metalurgie şi construcții de maşini.

Petroşani, iulie 2010 AUTORUL

CUPRINS

PARTEA ÎNTÂI

MATERIALE METALICE

1

PROPRIETĂȚILE MATERIALELOR METALICE

1.1. Generalități

În tehnica actuală, pentru executarea pieselor şi a diverselor produse, se utilizează în mare măsură materiale metalice, adică metale şi aliaje. *Metalele* sunt elemente chimice cu luciu caracteristic, bune conducătoare de căldură şi electricitate, maleabile şi ductile, dar se folosesc mai rar din cauza proprietăților defavorabile şi a prețului ridicat. *Aliajele* sunt materiale metalice obținute prin topirea împreună a două sau mai multor metale sau a unor metale şi metaloizi, având proprietăți şi însuşiri adecvate domeniilor de utilizare dorite şi preț mai redus.

După natura lor, materialele metalice se împart în două categorii:

- *materiale feroase* (fier, fonte şi oțeluri) care reprezintă circa 90% din consumul mondial de materiale metalice;

- *materiale neferoase* (cupru, aluminiu, magneziu, zinc, plumb, staniu, nichel, wolfram etc. şi aliajele lor), acestea reprezentând restul de 10% din consumul mondial.

Utilizarea materialelor metalice în tehnică este bine precizată şi este conformă cu prescripții standardizate care țin seamă de *proprietățile fizice, chimice, mecanice* şi *tehnologice* ale acestora.

1.2. Proprietăți fizice

Proprietățile fizice caracterizează natura materialelor metalice şi se clasifică după schema prezentată în fig. 1.1.

a) – Masa volumică sau ***densitatea*** *(ρ)* este raportul dintre masa unui corp şi volumul său:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [kg/m^3] \tag{1.1}$$

Dintre metale, masa volumică minimă o are litiul ($\rho = 0,53 \cdot 10^3$ kg/m^3), iar cea mai mare, osmiul ($\rho = 22,48 \cdot 10^3$ kg/m^3).

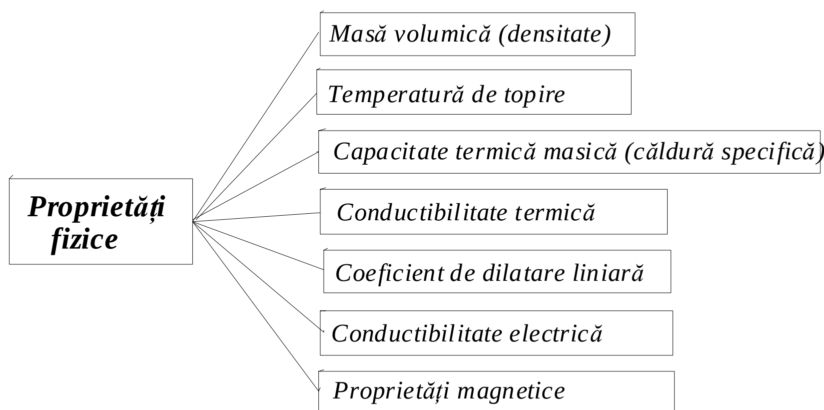


Fig. 1.1. Clasificarea proprietăţilor fizice ale materialelor metalice.

b) – Temperatura de topire (θ_t) este temperatura la care, sub acţiunea căldurii şi la presiunea normală, un metal pur trece din stare solidă în stare lichidă. În cazul aliajelor, există un interval de topire.

Dintre metalele cunoscute, cel mai greu se topeşte wolframul (θ_t=3410 °C), iar cel mai uşor, staniul (θ_t = 232 °C).

c) – Capacitatea termică masică sau ***căldura specifică*** (c_p) reprezintă cantitatea de căldură necesară ridicării temperaturii cu un grad a unui kilogram dintr-un material şi se exprimă în *J/kg·K*. La temperatura mediului ambiant, aceasta variază de la 138,2 J/kg·K (mercur), la 1 826 J/kg·K (beriliu).

Ea este necesară pentru calculul cuptoarelor de încălzire sau topire a metalelor.

d) – Conductibilitatea termică (λ) este proprietatea unui corp de a transmite un flux de temperatură sub acţiunea unei diferenţe de temperatură, măsurându-se în *J/m·s·K*. Cel mai bun conducător de căldură este argintul (λ = 453 J/m·s·K), iar cel mai slab, mercurul (λ = 7,91 J/m·s·K), valorile fiind date pentru temperatura mediului ambiant.

e) – Coeficientul de dilatare liniară (α) reprezintă creşterea unităţii de lungime a unui corp datorită creşterii temperaturii cu un grad, determinându-se cu relaţia:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t} \tag{1.2}$$

unde: l_0 –lungimea iniţială; Δl –creşterea lungimii la o creştere a temperaturii cu Δt.

Cel mai mic coeficient de dilatare liniară îl are invarul (oţel aliat cu 36% nichel şi folosit la fabricarea instrumentelor şi a aparatelor de precizie) şi anume $\alpha = 0{,}15\cdot10^{-5}$ K^{-1} , iar cel mai mare, cadmiul ($\alpha = 3{,}08\cdot10^{-5}$ K^{-1}).

f) – Conductibilitatea electrică (σ) este proprietatea materialelor metalice de a conduce curentul electric şi se exprimă în *S/m* (*siemens pe metru*). Inversul

conductibilității electrice se numeşte *rezistivitate electrică* (ρ) şi se exprimă în $\Omega \cdot m$ (*ohm·metru*).

Conductibilitatea electrică scade cu creşterea temperaturii, a conținutului de impurități şi a gradului de deformare, iar rezistivitatea creşte. La temperaturi foarte scăzute, aproape de 0 K, rezistivitatea este nulă, apărând fenomenul de *supraconductibilitate,* la care materialele metalice devin conducătoare electrice perfecte.

În condiții normale, conductibilitatea electrică maximă o are argintul ($\sigma = 62{,}5 \cdot 10^6$ S/m), iar cea mai mică, manganul ($\sigma = 0{,}388\ 10^6$ S/m). Ca urmare, argintul se utilizează la fabricarea contactelor electrice, iar manganul, la obținerea manganinului (aliaj de cupru, mangan şi nichel folosit la fabricarea rezistențelor electrice).

g) – Proprietățile magnetice se datorează mişcării orbitale a electronilor în jurul nucleului, aceştia formând de fapt circuite electrice care creează câmpuri magnetice. În materialele metalice cu proprietăți magnetice bune, aceste circuite electrice sunt orientate paralel, formând astfel un magnet elementar. Prin aplicarea unui câmp magnetic exterior, toți magneții elementari primesc aceeaşi orientare, ajungându-se la magnetizarea de saturație, care are intensitatea de magnetizare maximă.

Dintre proprietățile magnetice ale materialelor metalice se menționează: inducția magnetică, permeabilitatea magnetică, susceptibilitatea magnetică, magnetostricțiunea şi temperatura Curie.

Din punct de vedere al *susceptibilității magnetice* (proprietatea unui material metalic de a se supune acțiunii magnetismului şi de a se magnetiza), materialele metalice pot fi:

- *diamagnetice* care au o magnetizare de sens contrar câmpului magnetic exterior şi care dispare când acțiunea exterioară încetează (Cu, Cd, Sb, Pb, Zn, Au, Ag), susceptibilitatea lor magnetică κ fiind negativă;
- *paramagnetice* care se magnetizează slab şi temporar prin introducerea lor într-un câmp magnetic (Sn, Al, Mg, Na, K, Ca, Mo, Ti, Cr, V, Mn), având susceptibilitatea magnetică κ uşor pozitivă.
- *feromagnetice* care sunt atrase puternic de câmpul magnetic exterior şi capătă o magnetizare permanentă, intensă şi de acelaşi sens cu câmpul magnetic (Fe, Co, Ni) şi cu susceptibilitate magnetică pozitivă.

1.3. Proprietăți chimice

Proprietățile chimice ale materialelor metalice exprimă capacitatea acestora de a rezista la acțiunea mediilor corosive, a agenților atmosferici şi a apei de mare, precum şi la temperaturi înalte. Cele mai importante sunt *rezistența la coroziune* şi *refractaritatea*.

a) – Rezistența la coroziune este proprietatea materialelor metalice de a se opune acțiunii corosive a agenților chimici externi.

Distrugerea prin coroziune se poate produce pe cale *chimică*, atunci când

între metal şi agentul corosiv nu apare un transport de sarcini electrice sau pe cale *electrochimică*, atunci când apare un astfel de transport. Coroziunea este deosebit de nocivă, conducând la pierderi semnificative de materiale metalice, îndeosebi feroase.

Distrugerile prin coroziune pot fi substanțial reduse prin metode preventive (evitarea punerii în contact a unui metal cu un alt metal mai electronegativ, cum ar fi aluminiu-cupru, aluminiu-oțel aliat sau bronz-oțel), prin utilizarea metalelor şi aliajelor rezistente la coroziune, precum şi prin metode de protecție anticorosivă: galvanizare, acoperiri metalice prin pulverizare sau placare, tratamente termochimice sau vopsire cu lacuri şi emailuri.

Unele metale neferoase (Cu, Zn, Pb, Al, Ti, Ni, Cr), la contactul cu aerul atmosferic, formează la suprafață un strat de oxid protector (pasivizare), dar cea mai frecventă metodă de creştere a rezistenței la coroziune a metalelor este alierea (oțeluri aliate cu peste 12% Cr şi cu 5...25% Ni, aliaje ale cuprului cu aluminiul şi zincul etc.).

b) – Refractaritatea este proprietatea materialelor metalice de a-şi păstra caracteristicile mecanice la temperaturi ridicate şi de a nu forma la suprafață un strat oxidat care să se exfolieze.

Din această categorie fac parte metalele şi aliajele refractare. Astfel, *oțelurile refractare* sunt aliate cu crom, aluminiu, siliciu şi nichel şi dacă se adaugă şi molibden, creşte rezistența la fluaj, păstrându-şi caracteristicile mecanice timp îndelungat. Ele se utilizează, cu bune rezultate, în condiții de lucru la temperaturi de 600...800 ºC şi chiar până la 1000 ºC.

1.4. Proprietăți mecanice

Proprietățile mecanice arată modul de comportare a materialelor metalice la solicitările exterioare la care sunt supuse atât în procesele de prelucrare, cât mai ales în exploatare. În fig. 1.2. se prezintă o clasificare a acestor proprietăți.

a) – Rezistența la rupere este proprietatea unui material metalic de a se opune forțelor exterioare care tind să-l distrugă. După modul de acționare, aceste solicitări pot fi de tracțiune (întindere), compresiune, încovoiere, răsucire (torsiune), forfecare, flambaj etc. şi pentru fiecare din aceste solicitări se defineşte o rezistență specifică de rupere.

Sub acțiunea forțelor exterioare, materialele metalice se deformează, ceea ce conduce la modificarea distanței dintre atomii din rețeaua lor cristalină. Dacă distanța se măreşte, apar forțe de atracție, iar dacă se micşorează, forțe de respingere. Rezultanta tuturor forțelor interioare, raportată la unitatea de suprafață, se numeşte *efort unitar* (σ) şi se calculează cu relația:

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad [\text{daN/mm}^2] \qquad (1.3)$$

unde: F – forța exterioară, daN; A – aria secțiunii transversale a corpului solicitat, mm^2.

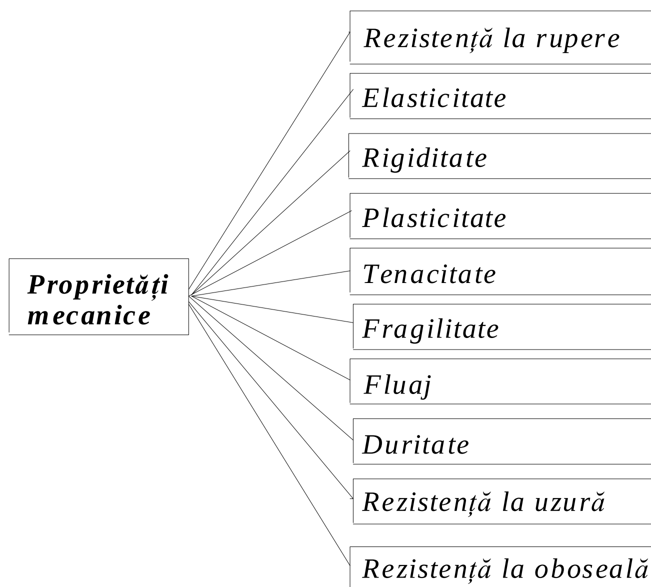


Fig. 1.2. Clasificarea proprietăților mecanice ale materialelor metalice.

Dintre rezistențele specifice de rupere, cea mai importantă este *rezistența de rupere la tracțiune* (R_m) care este raportul dintre sarcina maximă F_{max} pe care o poate suporta un material supus la tracțiune şi aria inițială a secțiunii sale transversale A_0:

$$R_m = \frac{F_{max}}{A_0} \qquad [\text{daN/mm}^2] \qquad (1.4)$$

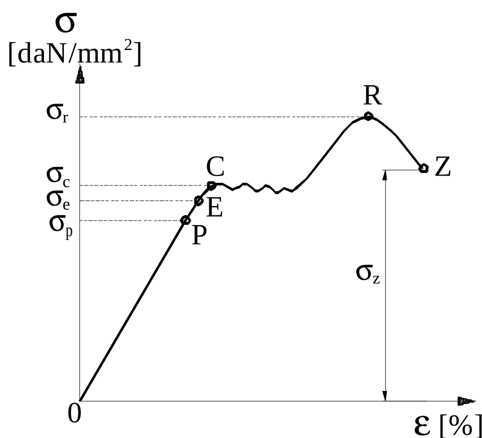


Fig. 1.3. Curba caracteristică la tracțiune a unui oțel moale.

Determinarea experimentală a acestei rezistențe se face prin *încercarea la întindere* a unei epruvete prelevate din materialul de încercat, maşina de încercat trasând automat curba efort-deformație, $\sigma = f(\varepsilon)$, numită şi *curba lui Hooke*[1] care, pentru un oțel moale, are forma prezentată în fig. 1.3. Pe curbă există mai multe puncte caracteristice care determină următoarele limite şi rezistențe admisibile:

- *limita de proporționalitate* (σ_p) este efortul limită până la care eforturile sunt proporționale cu deformațiile, aplicându-se legea lui

Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1.5)$$

unde *E* este modulul de elasticitate longitudinal, daN/mm²;

- *limita de elasticitate* (σ_e) este efortul limită până la care materialul se comportă elastic, adică deformaţiile dispar prin înlăturarea forţelor care le-au cauzat şi materialul revine la forma iniţială;

- *limita de curgere* (σ_c) este efortul limită începând de la care pentru creşteri mici ale forţei ce produce deformaţia, vom avea creşteri mari ale deformaţiei, adică materialul începe *„să curgă”*. Convenţional, limita de curgere a unui material reprezintă valoarea efortului unitar σ de la care deformaţiile specifice permanente sunt mai mari de 0,2% şi se mai notează cu $R_{p0,2}$;

- *rezistenţa la rupere* (σ_r ,R_m) este efortul unitar maxim înregistrat pe diagramă şi constituie cea mai importantă proprietate mecanică a materialelor;

- *rezistenţa efectivă la rupere* (σ_z) este efortul unitar la care se produce ruperea efectivă a epruvetei, în zona de gâtuire.

După ruperea epruvetei, se constată, prin măsurare, că lungimea iniţială de referinţă L_0 a crescut la valoarea L_u. Cu aceste date se pot defini:

- *alungirea relativă la rupere* (ε,δ,*A*) este raportul dintre lungimea epruvetei după rupere şi lungimea iniţială:

$$\delta = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.6)$$

- *gâtuirea relativă la rupere* (*Z*) este raportul dintre micşorarea secţiunii transversale a epruvetei în locul ruperii A_u şi secţiunea transversală iniţială A_0:

$$Z = \frac{A_0 - A_u}{A_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.7)$$

b) - Elasticitatea este proprietatea unui material metalic de a reveni la forma şi dimensiunile iniţiale după încetarea acţiunii forţelor exterioare.

Majoritatea materialelor metalice sunt elastice, fără a depăşi însă *limita de elasticitate* σ_e (fig.1.3). Practic însă nu există metale perfect elastice, acestea prezentând chiar înainte de limita de elasticitate deformaţii plastice foarte mici, până la 0,01% (pentru oţeluri) şi până la 0,03% (pentru neferoase).

c) - Rigiditatea este proprietatea unui material metalic de a se deforma cât mai puţin sub acţiunea forţelor exterioare, fiind deci contrară elasticităţii.

---

[1] *Robert HOOKE* (1635 - 1703) este autorul legii care îi poartă numele (1678) şi care stabileşte proporţionalitatea între eforturi şi deformaţii. De asemenea, a avut contribuţii în domeniul astronomiei, descoperind rotaţia planetei Jupiter şi în biologie, stabilind structura celulară a ţesuturilor şi introducând noţiunea de *celulă*. A inventat şi perfecţionat mai multe instrumente de observare şi măsurare (telescoape, termometre, microscoape).

Mărimea care reflectă gradul de rigiditate al materialelor metalice este *modulul de elasticitate E* sau *modulul lui Young*[2] care este raportul dintre efortul unitar şi deformația specifică (vezi relația 1.5).

d) - Plasticitatea este proprietatea materialelor metalice de a păstra parțial sau total deformațiile şi după înlăturarea acțiunilor care le-au produs. Urmărind curba lui Hooke (fig. 1.3) se constantă că, solicitând materialul cu tensiuni mai mari decât limita de elasticitate, la un moment dat materialul începe *să curgă*, iar deformațiile specifice permanente sunt mai mari de 0,2%, adică ne aflăm în *zona de plasticitate*.

Majoritatea materialelor metalice se pot prelucra uşor prin deformare plastică (laminare, extrudare, tragere, forjare liberă, matrițare etc.), dar există şi metale şi aliaje fragile care nu suportă deformările plastice, fiind casante (fonta, unele bronzuri, beriliul, zincul etc.).

e) - Tenacitatea este proprietatea materialelor metalice de a se deforma mult înainte de rupere, având proprietăți plastice pronunțate şi în acelaşi timp proprietăți ridicate de rezistență la rupere.

Tenacitatea se poate determina prin *încercarea de reziliență* care este o metodă dinamică şi constă în ruperea, dintr-o singură lovitură, cu un ciocan-pendul, a unei epruvete aşezate pe două reazeme şi crestate la mijloc. *Reziliența* este raportul dintre lucrul mecanic necesar ruperii prin încovoiere W şi secțiunea inițială a epruvetei rupte A_0:

$$KCU = \frac{W}{A_0} \quad [\text{daJ/cm}^2] \qquad (1.8)$$

Aparatul cu care se face încercarea de reziliență a fost conceput şi construit în 1901 de chimistul şi metalurgul francez A. Charpy[3].

Metalele şi aliajele cu reziliență mare sunt considerate tenace (oțelurile moi şi cele destinate confecționării arcurilor, aluminiul, cuprul, alama), iar cele cu reziliență mică, fragile (fonta, beriliul, zincul).

f) - Fragilitatea este proprietatea materialelor metalice de a se rupe sau distruge sub acțiunea unor forțe, fără ca în prealabil să se deformeze, fiind proprietatea opusă plasticității. În cazul materialelor fragile, rezistența la rupere este practic egală cu limita de curgere.

---

[2]*Thomas YOUNG* (1773 - 1829), savant englez care a introdus noțiunea de *modul de elasticitate*. A elaborat studii de fizică, fiziologie, medicină, botanică, geofizică, tehnică, filologie etc. A contribuit la fundamentarea teoriei ondulatorii a luminii introducând noțiunea de *coerență* şi explicând fenomenul de *interferență* şi fiind primul savant care a folosit termenul de *energie*. În domeniul fiziologiei a explicat acomodarea ochiului prin deformarea cristalinului, a descris defectul de vedere numit *astigmatism* şi a studiat circulația sângelui. De asemenea, a contribuit la descifrarea vechilor papirusuri egiptene.

[3]*Augustin Georges - Albert CHARPY* (1865 - 1945) studiază benzile de alunecare şi introduce încercarea de reziliență (1897). Absolvent al Şcolii Politehnice din Paris, s-a distins prin lucrări de chimie industrială care au contribuit hotărâtor la dezvoltarea metalurgiei franceze, iar în 1918 a fost ales membru al Academiei de Științe a Franței.

Fragilitatea depinde de prezenţa concentratoarelor de eforturi (lipsa razelor de racordare, crestături etc.), precum şi de temperatură. Astfel, la temperatura obişnuită, wolframul este un metal fragil, cu alungire şi stricţiune practic nule, dar devine plastic şi ductil la temperaturi înalte (A=60% la 900 °C).

g) - Fluajul este proprietatea metalelor şi aliajelor de a se deforma lent şi continuu în timp, sub acţiunea unei sarcini constante de lungă durată, chiar dacă solicitarea materialului se află sub limita de elasticitate. Această proprietate numită şi *curgere lentă* variază cu temperatura, manifestându-se sensibil la temperaturi mai ridicate. Ca urmare, este necesar să se ţină seamă de *ruperea prin fluaj* la proiectarea şi exploatarea maşinilor şi instalaţiilor care lucrează la temperaturi înalte (cazane, turbine cu gaze, motoare de rachete).

În acest sens, au fost create aliaje refractare care se comportă bine şi la temperaturi ridicate, de 550...1000°C, timp îndelungat (oţeluri austenitice, aliaje pe bază de nichel sau cobalt, aliaje superrefractare complexe), toate acestea având în componenţă molibden care este deosebit de eficace pentru mărirea rezistenţei la fluaj. În fig.1.4 este reprezentată forma teoretică a unei curbe de fluaj, într-un sistem de coordonate alungire-timp. După o alungire iniţială rapidă a epruvetei ε_0 vom avea un fluaj primar nestabilizat *1*, un fluaj secundar stabilizat *2* şi un fluaj terţiar accelerat *3*, până când apare ruperea. *Încercarea de rupere prin fluaj* se realizează cu echipament specializat de laborator, durând câteva luni de zile.

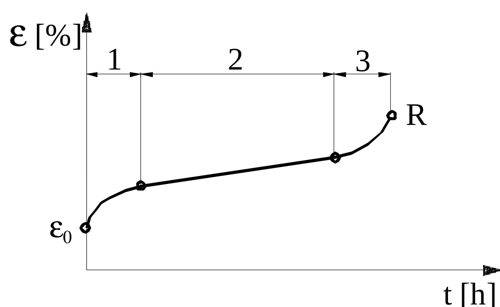


Fig. 1.4. Curba teoretică de fluaj a unui metal.

h) - Duritatea este proprietatea unui material metalic de a se opune pătrunderii în stratul său superficial a unui obiect dintr-un material mai dur şi nedeformabil. Cunoaşterea durităţii este un mijloc foarte important pentru verificarea calităţii pieselor după aplicarea unor tratamente termice sau termochimice.

Metodele folosite în mod curent pentru măsurarea durităţii metalelor sunt practic nedistructive, putându-se realiza prin *zgâriere*, prin *pătrundere* şi prin *metode dinamice*.

Determinarea durităţii prin zgâriere se aplică mai rar metalelor, prezentând un interes deosebit pentru mineralogi. Conform acestei metode, materialele se clasifică în funcţie de posibilitatea pe care o au de a zgâria un alt material, duritatea măsurându-se după *scara Mohs*[4]. Metalele dure au pe scara Mohs durităţi cuprinse între 4 şi 8.

---

[4]*Friederich MOHS* (1773 - 1839) este inventatorul *scării de duritate mineralogice* (1820) constituite din 10 trepte (talc, gips, calcit, fluorină, apatit, ortoză, cuarţ, topaz, corindon, diamant).

În cazul măsurării durității prin metode dinamice, penetratorul este lăsat de obicei să cadă pe suprafața metalului, duritatea fiind exprimată în funcție de energia de impact. Scleroscopul Shore, care constituie cel mai cunoscut exemplu de aparat pentru încercarea dinamică a durității, măsoară duritatea în funcție de înălțimea de recul a unui ciocănel cu vârf de oțel dur, lăsat să cadă, printr-un ghidaj vertical, pe materialul de încercat.

Din punct de vedere tehnic, cea mai răspândită metodă pentru determinarea durității metalelor este cea prin pătrundere, realizându-se prin apăsarea asupra materialului de încercat a unei bile din oțel călit şi lustruit *(metoda Brinell*[5] *- HB),* a unei piramide din diamant cu unghiul de 136° între fețele opuse *(metoda Vickers - HV)* sau a unui con de diamant cu unghiul la vârf de 120° *(metoda Rockwell - HRC*).

i) - Rezistența la uzură este proprietatea materialelor metalice de a se uza greu prin frecare. Uzura unui material se măsoară prin pierderea de masă a unei epruvete în unitatea de timp, raportată la unitatea de suprafață aflată în frecare.

Rezistența la uzură creşte aproape liniar cu duritatea şi se poate îmbunătăți prin aliere (îndeosebi cu mangan), prin tratamente termice, termochimice şi termomecanice sau prin acoperiri de protecție. De asemenea, pentru o aderență minimă, metalele trebuie să fie insolubile reciproc, pentru a nu forma aliaje, compuşi intermetalici sau soluții solide. Au o uzură de aderență minimă Fe/Pb, Fe/Sn, Al/Sn, Cu/Pb, Cr/Cu, Cr/Sn, oțel/Cu şi o uzură de aderență maximă Fe/Cu, Fe/Cr, Cu/Al, oțel/Al, oțel/oțel.

j) - Rezistența la oboseală este valoarea maximă la care se rupe un material, după un număr prescris de solicitări periodice alternante la acea sarcină. În principiu, ea reprezintă asimptota la curba efort unitar σ - număr de cicluri *N*, numită *curba lui Wöhler*[6] (fig. 1.5). Metoda obişnuită pentru determinarea curbei constă în a încerca prima epruvetă la un efort unitar σ_1 suficient de ridicat pentru ca ruperea să apară după un număr redus de cicluri N_1. Efortul unitar de solicitare periodică alternantă (întindere-compresiune, încovoiere alternantă etc.) se micşorează până când ultima epruvetă nu se mai rupe, aceasta fiind de fapt *rezistența la oboseală* σ_{-1}. Numărul de cicluri care se ia ca bază este de 10^6 ... 10^7, pentru aliaje feroase şi 10^7 ... 10^8, pentru metale şi aliaje neferoase.

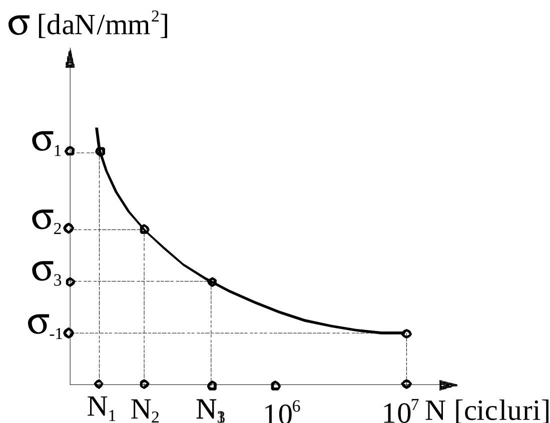


Fig. 1.5. Determinarea experimentală a rezistenței la oboseală.

1.5. Proprietăți tehnologice

Proprietățile tehnologice ale materialelor metalice indică modul de comportare a acestora la diferite procedee de prelucrare la cald sau la rece şi se clasifică după schema prezentată în fig. 1.6.

a) - Turnabilitatea este proprietatea materialelor metalice topite de a umple cavitatea unei forme la turnare şi de a reproduce configurația cavității după solidificare. Turnabilitatea unui material metalic depinde de caracteristicile de turnare ale acestuia:

- *fluiditatea* este proprietatea unui metal topit de a curge cu uşurință şi a umple cavitatea formei în care este turnat, acest lucru fiind foarte important la piese cu pereți subțiri şi cu contur complicat;

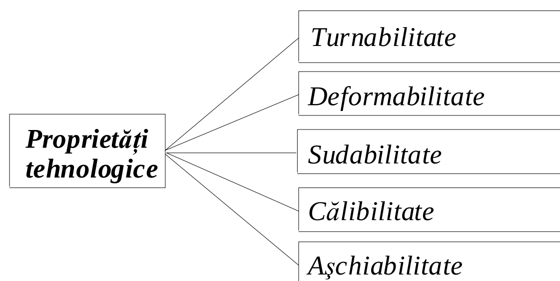


Fig. 1.6. Clasificarea proprietăților tehnologice ale materialelor metalice.

- *segregarea* este fenomenul nedorit care determină separarea elementelor chimice ale unui aliaj cu temperaturi de topire diferite în timpul cristalizării, ceea ce conduce la o neomogenitate chimică a piesei turnate;

- *absorbția de gaze* este tot o proprietate nedorită a metalelor, de a dizolva gaze, crescând odată cu temperatura de turnare şi conducând la apariția suflurilor în piesele turnate.

Dintre materialele metalice, cea mai bună turnabilitate o au fonta (fluiditate bună, contracție redusă şi tendință mică de segregare) şi bronzul (fluiditate bună şi contracție mică), în timp ce oțelul are o fluiditate mai mică, o contracție şi o tendință de segregare mai mari.

b) - Deformabilitatea este proprietatea materialelor metalice de a se deforma şi a lua o formă nouă, sub acțiunea unor forțe exterioare, fără a se rupe. Ea poate fi caracterizată în practică prin:

- *maleabilitatea* este proprietatea materialelor metalice de a se prelucra uşor în table şi foi subțiri (aur, cupru, aluminiu, alamă, oțeluri moi);

- *ductilitatea* este proprietatea metalelor de a fi trase în fire subțiri sau trefilate (cupru, aluminiu, alamă, oțeluri moi);

---

[5]*Johan August BRINELL* (1849 - 1925) - metalurg suedez care a prezentat aparatul pentru încercări de duritate ce-i poartă numele, la Expoziția Mondială de la Paris din 1900.

[6]*Friedrich WÖHLER* (1800 - 1882) - chimist german care a descoperit aluminiul şi a obținut beriliu şi ytriu. De asemenea, a realizat prima sinteză organică, obținând uree şi a descoperit fenomenul izomeriei compuşilor organici. În 1863 a introdus un procedeu de încercare a materialelor, trasând curba care îi poartă numele.

- *forjabilitatea* este proprietatea metalelor de a se deforma plastic la cald sau la rece, sub acțiunea unor forțe de lovire sau presare.

c) - Sudabilitatea este o proprietate complexă a materialelor metalice care determină aptitudinea lor tehnică pentru realizarea unor îmbinări sudate. Sudarea se poate realiza prin topire sau prin presiune, cu sau fără adaos de material, iar sudabilitatea are două caracteristici:

- *comportarea la sudare* este o caracteristică ce depinde de proprietățile metalurgice ale metalelor de bază şi de adaos;
- *siguranța la sudare* este capacitatea materialelor metalice de a-şi păstra plasticitatea şi după sudare şi de a nu căpăta tendință spre rupere fragilă.

Cea mai bună sudabilitate o au oțelurile calmate şi cele cu conținut scăzut de carbon (sub 0,2%) şi nealiate. Fontele, metalele şi aliajele neferoase au sudabilități scăzute.

d) - Călibilitatea este proprietatea unor materiale metalice de a se durifica în urma răcirii bruşte de la o anumită temperatură. Din categoria materialelor călibile fac parte fontele şi oțelurile, bronzul şi unele aliaje ale aluminului şi nichelului.

Călibilitatea depinde de condițiile de încălzire şi răcire, de compoziția chimică şi, în cazul oțelului, în special de cinetica transformării austenitei. Cu cât stabilitatea austenitei este mai mare la temperatura de transformare perlitică şi bainitică, cu atât călibilitatea este mai bună.

e) - Aşchiabilitatea este proprietatea materialelor metalice de a putea fi prelucrate prin aşchiere în condiții tehnice rentabile. Prelucrarea prin aşchiere se realizează cu scule aşchietoare, pe diverse maşini-unelte, obținându-se de obicei piese finite.

Aşchiabilitatea este cu atât mai bună cu cât durabilitatea sculelor aşchietoare este mai mare, iar forțele de aşchiere, mai mici. Majoritatea materialelor metalice au o aşchiabilitate bună, exceptând fontele albe, oțelurile călite şi aliajele foarte dure.

1.6. Dicționar român-englez-francez de cuvinte-cheie

metal	metal	métal (*m*)
aliaj	alloy	alliage (*m*)
masă volumică (densitate)	density	masse (*f*) volumique; poids (*m*) spécifique
temperatură de topire	smelting point	point (*m*) de fusion
căldură specifică	specific heat	chaleur (*f*) spécifique
conductibilitate termică	thermal conductibility	conductibilité (*f*) thermique
coeficient de dilatare liniară	coeficient of linear expansion	coefficient (*m*) de dilatation thermique
conductibilitate electrică	electrical conductibility	conductibilité (*f*) électrique
rezistență la coroziune	corrosion resistance	résistance (*f*) à la corrosion
refractaritate	refractoriness	réfractarité (*f*)
rezistență la rupere	ultimate strength	résistance (*f*) de rupture
rezistența de rupere la tracțiune	breaking strenght	résistance (*f*) de rupture à la traction

alungirea relativă la rupere	percentage elongation	allongement (m) pour cent après rupture
gâtuire relativă la rupere	reduction of area	striction (*f*) de rupture
elasticitate	elasticity	élasticité (*f*)
rigiditate	rigidity; stiffness	rigidité (*f*)
modul de elasticitate	elastic modulus	module (*m*) d'élasticité
plasticitate	plasticity	plasticité (*f*)
tenacitate	tenacity; toughness	ténacité (*f*)
rezilienţă	resiliency	résilience (*f*)
fragilitate	brittleness; fragility	fragilité (*f*)
fluaj	creep	fluage (*m*)
duritate	hardness	dureté (*f*)
rezistenţă la uzură	resistance to wear	résistance (*f*) à l'usure
rezistenţă la oboseală	fatique strength	résistance (*f*) à la fatigue
fluiditate	castability	coulabilité (*f*)
contracţie	shrinkage; contraction	contraction (*f*); retrait (*m*)
segregare	segregation	ségrégation (*f*)
absorbţie de gaze	gas absorption	absorption (*f*) de gaz
maleabilitate	malleability	malléabilité (*f*)
ductilitate	ductility	ductilité (*f*)
forjabilitate	forgeability	forgeabilité (*f*)
sudabilitate	weldability	soudabilité (*f*)
călibilitate	hardenability	trempabilité (*f*)

2

STRUCTURA CRISTALINĂ A METALELOR

2.1. Noțiuni de cristalografie

Toate corpurile materiale sunt alcătuite din atomi. Dintre cele trei stări de existență a materiei – solidă, lichidă şi gazoasă – starea solidă se caracterizează printr-o înghesuire mare a atomilor între ei. Din această cauză, una şi aceeaşi substanță are o masă volumică mai mare, când este în stare solidă, față de starea lichidă care se obține prin topire. De la această regulă fac excepție apa şi două metale: stibiul şi bismutul.

În lichide, ca de altfel şi în gaze, atomii nu sunt distribuiți în spațiu după o anumită regulă, ei schimbându-şi necontenit pozițiile. Ca urmare, lichidele curg şi iau forma vaselor în care sunt turnate, iar gazele se deplasează în toate direcțiile. Cu cât temperatura unui fluid este mai mare, cu atât creşte şi gradul de mobilitate a atomilor. Spre deosebire de lichide şi gaze, atomii corpurilor solide nu se mişcă deloc sau se mişcă foarte greu. În funcție de poziția în spațiu a atomilor, corpurile solide pot fi:

- *cristaline* – caracterizate printr-o dispoziție ordonată a atomilor care formează rețele cristaline;
- *amorfe* – caracterizate printr-o dispoziție întâmplătoare a atomilor în spațiu (materialele plastice, sticla, grafitul, smoala). Corpurile amorfe sunt *izotrope*, adică proprietățile lor sunt aceleaşi în toate direcțiile.

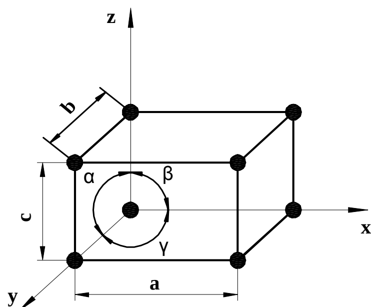


Fig.2.1. Celulă cristalină elementară.

Metalele şi aliajele aflate în stare solidă au o structură cristalină. Regularitatea distribuției atomilor în spațiu formează o rețea, iar cea mai mică porțiune dintr-un asemenea sistem care păstrează simetria întregii rețele este *celula cristalină elementară* (fig.2.1.). Aceasta este definită prin parametrii rețelei (*a*, *b*, *c*, *α*, *β*, *γ*) care reprezintă distanțele şi unghiurile dintre planurile paralele ce formează celula elementară, precum şi de natura, numărul şi modul de dispunere a particulelor elementare în rețea. Dimensiunile unui cristal elementar sunt extrem de mici, parametrii *a, b, c* având valori de 2,3...6,5 Å (1 Å = 1 Ångström[1] = 10^{-8} cm).

Aranjamentul atomilor într-un cristal elementar este prezentat cu ajutorul unei rețele de puncte tridimensionale, numită rețea spațială.

Punctele rețelei spațiale se numesc noduri şi toate nodurile sunt identice.

---

[1] *Anders-Jens ÅNGSTRÖM* (1814-1874) – fizician şi astronom suedez în cinstea căruia s-a dat această unitate de măsură folosită în fizica atomică şi nucleară. A avut contribuții în domeniul analizei spectrale, fiind primul care a folosit-o în studiul stelelor şi a determinat limitele spectrului vizibil.

Ele sunt ocupate, de obicei, de câte un singur atom, iar vecinii unui nod oarecare al reţelei sunt identici cu vecinii oricărui alt nod al reţelei. Pornind de la aceste considerente, fizicianul francez Bravais[2] a demonstrat că sunt posibile 14 tipuri de reţele spaţiale care aparţin unui număr de 7 sisteme cristaline prezentate în tabelul 2.1 şi fig. 2.2.

Tabelul 2.1. **Sisteme cristaline**

Schema	Sistemul cristalin	Parametrii caracteristici		
		Constante reticulare	Unghiuri	Tipuri
a	Cubic	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	Cubic simplu Cubic cu feţe centrate Cubic cu volum centrat
b	Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	Tetragonal simplu Tetragonal centrat
c	Rombic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	Rombic simplu Rombic cu baze centrate Rombic cu feţe centrate Rombic cu volum centrat
d	Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90°$ $\gamma = 120°$	Hexagonal
e	Romboedric	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$	Romboedric
f	Monoclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90°$ $\beta \neq 90°$	Monoclinic simplu Monoclinic cu baze centrate
g	Triclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$	Triclinic

Examinând sistemul periodic al elementelor, se constată că majoritatea metalelor cristalizează într-un număr limitat de reţele, şi anume: reţeaua cubică cu volum centrat (*CVC*), reţeaua cubică cu feţe centrate (*CFC*) şi reţeaua hexagonală compactă (*HC*). Reţeaua *CVC* (fig. 2.3.a) are celula formată din 9 atomi, din care 8 sunt situaţi în colţurile celulei elementare, iar unul în centrul volumului. Reţeaua cuprinde 15 metale (Li, Na, K, V, Cr, Fe, Rb, Nb, Mo, Cs, Ba, Ta, W, Fr, Eu), majoritatea având rezistenţă mecanică ridicată şi plasticitate moderată.

Reţeaua *CFC* (fig. 2.3.b) are celula formată din 14 atomi, din care 8 în colţurile celulei elementare, şi 6 în centrele feţelor cubului. Ea cuprinde tot 15 metale (Al, Ca, Ni, Cu, Sr, Rh, Pd, Ag, Ir, Pt, Au, Pb, Ce, Yt, Th), toate fiind maleabile şi ductile.

Reţeaua *HC* (fig. 2.3.c) nu figurează printre tipurile Bravais (tabelul 2.1). Ea are 17 atomi, din care 14 în colţurile şi centrele bazelor prismei hexagonale şi 3 în centrele a trei prisme triunghiulare obţinute prin împărţirea prismei hexagonale în şase părţi. Reţeaua hexagonală compactă cuprinde 25 de metale, multe dintre ele aparţinând grupului lantanidelor (Be, Mg, Sc, Ti, Co, Zn, Y, Zr, Ru, Cd, La, Hf, Re, Os, Tl, Pr, Nd, Pm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu).

[2]*Auguste BRAVAIS* (1811-1963), fizician francez. A formulat ipoteza structurii reticulare a cristalelor, verificată ulterior cu ajutorul razelor X.

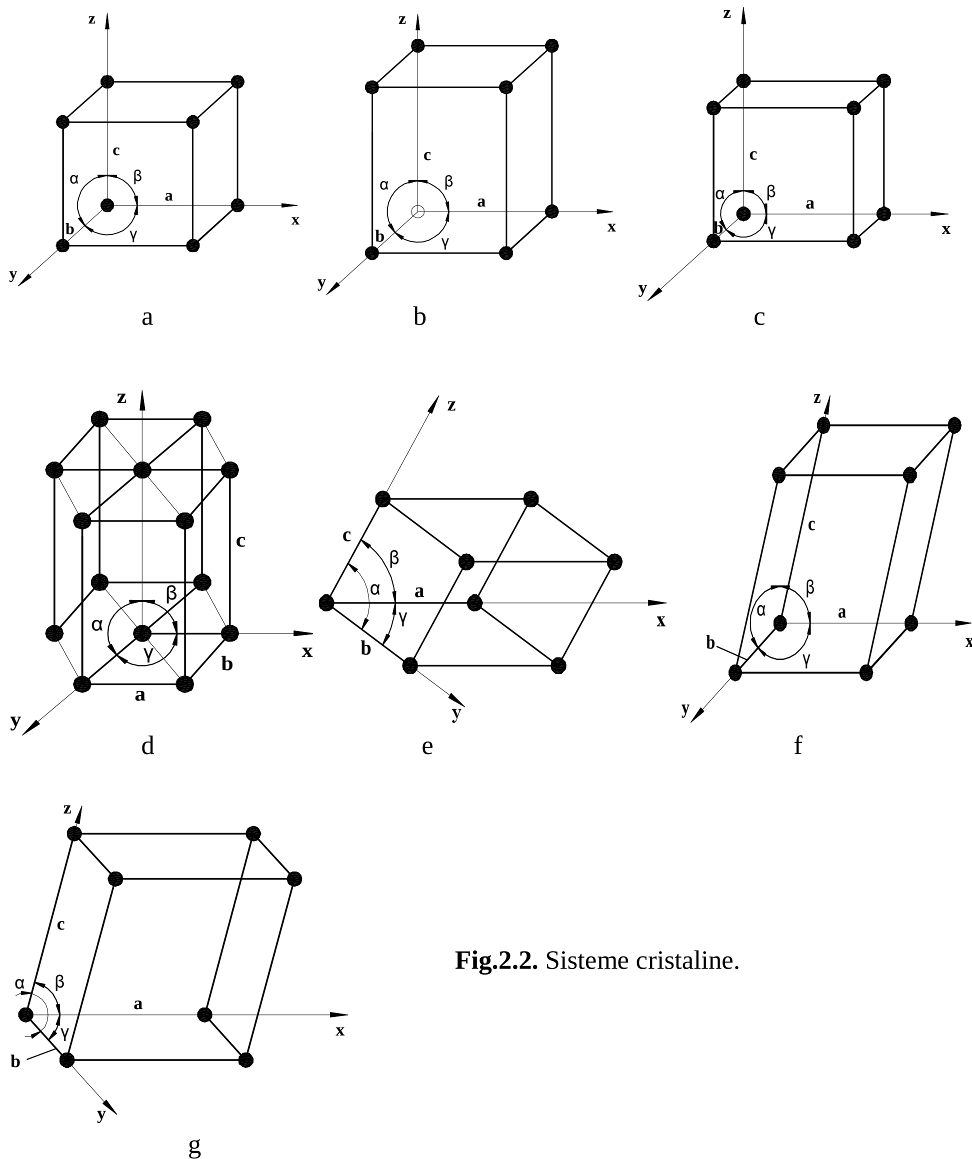


Fig.2.2. Sisteme cristaline.

Alte câteva metale, pot cristaliza în alte tipuri de rețele, astfel:
- rețeaua cubică simplă (Mn);
- rețeaua romboedrică (Sb, Hg, Bi, Sm);
- rețeaua rombică (Ga);
- rețeaua monoclinică (Po);
- rețeaua triclinică (In, Sn).

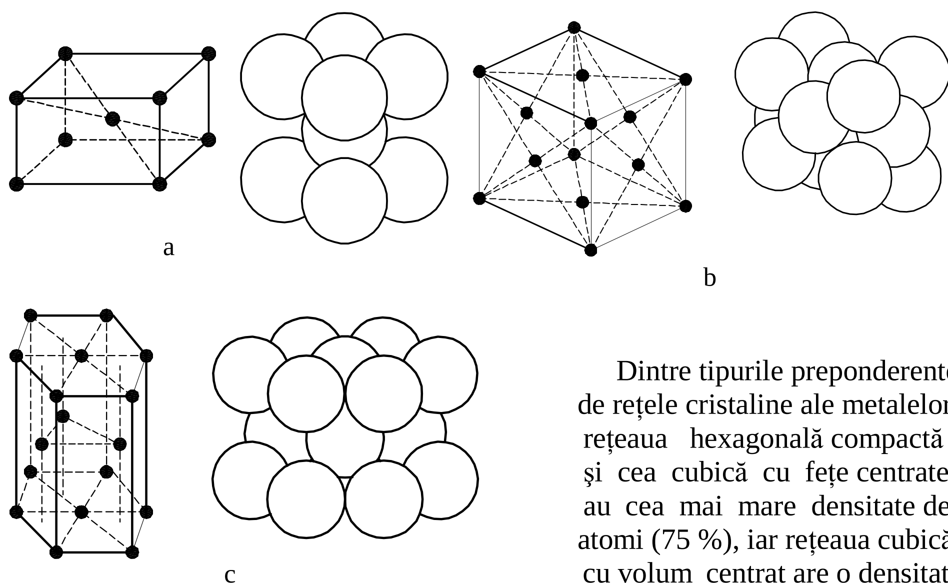


Fig. 2.3. Reţelele cristaline ale metalelor.

Dintre tipurile preponderente de reţele cristaline ale metalelor, reţeaua hexagonală compactă şi cea cubică cu feţe centrate au cea mai mare densitate de atomi (75 %), iar reţeaua cubică cu volum centrat are o densitate de 68 %.

Sunt cazuri când unele metale cristalizează în sisteme diferite în funcţie de temperatură. Această proprietate se numeşte *polimorfism* sau *alotropie*, iar trecerea de la un sistem cristalin la altul se numeşte *modificare alotropică*. Acest lucru se datorează schimbării orbitelor electronilor periferici sub acţiunea căldurii.

În acelaşi timp se modifică şi proprietăţile fizico-mecanice şi chimice ale metalului şi, uneori, şi valenţa acestuia. Formele alotropice se notează cu literele greceşti α, β, γ şi δ, atribuite în ordinea creşterii temperaturii şi sunt reversibile.

Din totalul metalelor, incluzând şi pământurile rare, 19 prezintă forme alotropice (Ca, Ce, La, Th, Ti, Mn, Co, Sn, Po, Sr, Pr, Nd, U, Zr, Fe, Sm, Yb, Pu, Hf), în tabelul 2.2 prezentându-se câteva exemple.

2.2. Imperfecţiuni ale reţelelor cristaline

Din cele prezentate până aici rezultă că structura cristalelor ar fi perfectă. În realitate, cristalele au numeroase abateri de la distribuţia ordonată a atomilor numite imperfecţiuni sau defecte de structură. Acestea influenţează semnificativ proprietăţile fizico-mecanice şi chimice ale materialelor metalice şi stau la baza formării aliajelor, tratamentelor termochimice şi a obţinerii materialelor semiconductoare.

Defectele de reţea pot fi dinamice şi statice. *Defectele dinamice* provoacă deplasări de atomi variabile în timp, datorită încălzirii materialului (agitaţie termică) şi dispar odată cu scăderea temperaturii. *Defectele statice* se menţin timp îndelungat şi pot fi punctiforme, liniare şi de suprafaţă.

Defectele punctiforme (fig.2.4) sunt defecte atomice cauzate de încălziri sau răciri bruşte, deformări plastice sau bombardamente cu particule de mare energie, prezentându-se sub mai multe forme.

Tabelul 2.2. **Formele alotropice ale principalelor metale**

Metalul	Forma alotropică	Intervalul de temperatură [°C]	Rețeaua cristalină
Fe	*α* *γ* *δ*	20-912 912-1394 1394-1538	Cubică cu volum centrat Cubică cu fețe centrate Cubică cu volum centrat
Mn	*α* *β* *γ* *δ*	20-727 727-1095 1095-1133 1133-1243	Cubică complexă Cubică complexă Tetragonală cu fețe centrate Cubică cu volum centrat
Co	*α* *β*	20-400 400-1495	Hexagonală compactă Cubică cu fețe centrate
Ti	*α* *β*	20-882 882-1668	Hexagonală compactă Cubică cu volum centrat
Zr	*α* *β*	20-865 865-1852	Hexagonală compactă Cubică cu volum centrat
Sn	*α* *β*	<18 18-232	Cubică-diamant* Tetragonală cu volum centrat
U	*α* *β* *γ*	20-660 660-775 775-1133	Rombică Tetragonală Cubică cu volum centrat

*Rețeaua cubică-diamant cuprinde 18 atomi: 8 în colțurile cubului, 6 în centrele fețelor cubului şi 4 în interior. Se întâlneşte la diamant şi la metalele casante (Sn, Si, Ge).

Vacanța (fig.2.4.a) este un loc neocupat de un atom într-o rețea, datorită factorilor menționați mai sus. *Atomii interstițiali* (fig.2.4.b) sunt atomi de aceeaşi natură cu cei ai rețelei cristaline, dar care ocupă poziții diferite de nodurile rețelei şi provoacă deformarea rețelei cristaline din vecinătatea lor. Defectul apare ca urmare a unui bombardament cu particule nucleare cu energie ridicată. *Atomii de substituție* sunt atomi străini care înlocuiesc atomii din structura cristalului (fig.2.4.c) sau ocupă poziții interstițiale (fig.2.4.d).

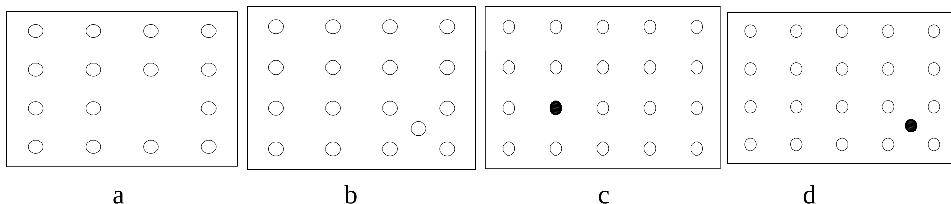


Fig.2.4. Defecte punctiforme.

Defectele punctiforme menționate sunt defecte simple. Ele pot interacționa unele cu altele, formând defecte complexe.

Defectele liniare sau ***dislocațiile*** (fig.2.5) sunt cele mai cunoscute imperfecțiuni ale rețelelor cristaline şi ele stau la baza deformațiilor plastice. Grosimea lor este foarte mică, de ordinul diametrului unui atom, şi de lungime

foarte mare, de ordinul zecilor de mii de diametre atomice. Dislocaţia se poate realiza fie dintr-o dată, pe întreg planul de alunecare, fie treptat, cuprinzând mai întâi o mică porţiune a planului, după care se propagă din aproape în aproape pe întreg planul. Astfel, pentru un cristal perfect (fig.2.5.a), în primul caz avem o *dislocaţie sincronă* (fig.2.5.b), iar în al doilea caz, o *dislocaţie asincronă* (fig.2.5.c). Este prezentată de asemenea distribuţia atomilor în cristal înainte şi după alunecarea sincronă şi asincronă.

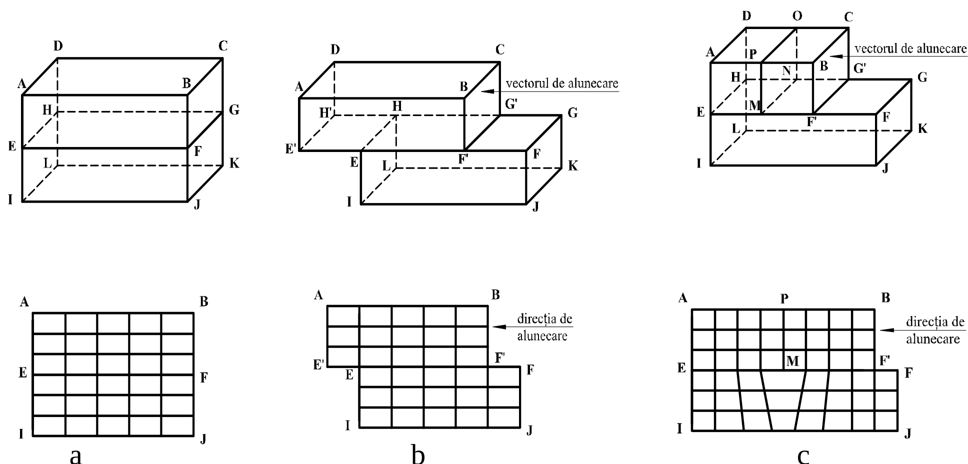


Fig.2.5. Defecte liniare.

În cazul dislocaţiei asimetrice se observă formarea planului *MNOP* (fig.2.5.c). Latura *MN* a acestui plan separă partea cristalului care a alunecat de cea care nu a alunecat şi se numeşte *dislocaţie marginală*. Se poate deci spune că dislocaţia este o linie care separă, pe planul de alunecare, regiunea alunecată de cea care nu a alunecat. Mai există şi *dislocaţii elicoidale* care au forma unui şurub şi se obţin prin forfecarea a două porţiuni ale unui cristal, una în raport cu cealaltă. Denumirea de dislocaţie elicoidală vine de la faptul că atomii din vecinătatea ei pot forma o spirală, pe stânga sau pe dreapta.

În practică, dislocaţiile marginale coexistă cu cele elicoidale sub formă de dislocaţii mixte. Ele nu se termină niciodată în interiorul cristalului, atingând întotdeauna suprafaţa acestuia.

Defectele de suprafaţă sunt determinate de zonele de trecere dintre două cristale vecine. Atomii din aceste zone aparţin unuia sau altuia dintre cristale (mai rar), formează o structură de tranziţie sau sunt dispuşi dezordonat.

Tot defecte de suprafaţă sunt şi *sublimitele* care apar atunci când în interiorul unui cristal reţeaua se abate de la forma ei ideală, formând mici domenii sau blocuri care formează între ele unghiuri mici.

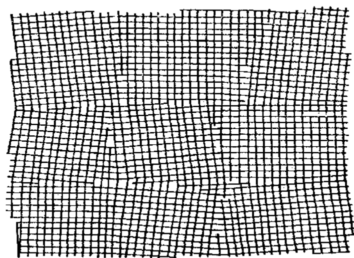


Fig. 2.6. Defect de suprafaţă.

Ca urmare, rețeaua unui cristal seamănă cu un mozaic (fig.2.6.), iar blocurile în mozaic sunt separate unul de altul prin limite la unghiuri mici numite *sublimite*. Ele se formează în mod curent la recoacerea de recristalizare a stratelor ecruisate.

2.3. Curbe de răcire

Materialele metalice solide se obțin prin solidificarea unei topituri. Pentru că în acest proces se formează grăunți cristalini, fenomenul se numeşte *cristalizare primară*. Fac excepție magneziul şi zincul care se pot obține direct din stare de vapori, şi wolframul care se obține prin reducere directă. Există şi noțiunea de cristalizare secundară care se referă la transformările în stare solidă ale metalelor sau modificări alotropice (tabelul 2.2).

Cristalizarea primară a metalelor se studiază cu ajutorul *curbelor de răcire* care se trasează cu ajutorul unei instalații de analiză termică. Pentru o mai bună înțelegere a fenomenului vom prezenta grafic atât curba de încălzire a unui metal pur, cât şi curba de răcire (fig.2.7).

Astfel, la încălzirea metalului (curba *a*), se constată că la temperatura de topire a acestuia T_t avem un palier *1-2* paralel cu abscisa, când metalul absoarbe o cantitate suplimentară de căldură, fără ca temperatura să crească, numită căldură latentă de topire. După ce cantitatea de metal s-a topit, temperatura va creşte după curba *2-3*. Fenomenul invers, de răcire, este reprezentat de curba *b* care prezintă palierul *2-1* la temperatura T_s, inferioară temperaturii T_t. În punctul *2* apar primele cristale, iar în punctul *1* se termină cristalizarea, temperatura rămânând constantă pentru că pe palierul *2-1* se cedează căldura latentă de topire. Deci, la topire, pentru distrugerea cristalelor se consumă energie, iar la solidificare această căldură este degajată. Diferența dintre temperaturile T_t şi T_s se numeşte *supraîncălzire*, la topire şi *suprarăcire*, la solidificare, iar fenomenul de întârziere a transformării, *histerezis termic*.

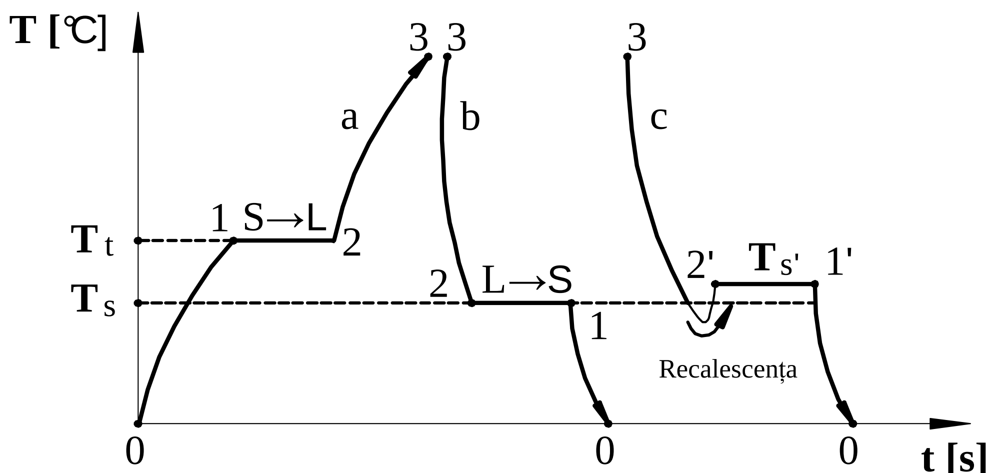


Fig. 2.7. Curbe de încălzire şi răcire.

Nici această situaţie nu este cu totul reală. Cazul cel mai apropiat de realitate este reprezentat de curba *c*. Se constată că gradul de suprarăcire coboară sub temperatura de solidificare, datorită germinării slabe. După amorsarea germinării apare creşterea dendritică, iar căldura latentă este absorbită de lichidul suprarăcit, crescându-i puţin temperatura. Acest fenomen se numeşte *recalescenţă* şi se manifestă atât prin creşterea temperaturii, cât şi printr-o licărire a metalului.

Cele prezentate mai sus sunt valabile numai pentru metalele pure care au puncte de topire precise. În cazul aliajelor, forma curbelor de răcire este mai complicată. În general, aliajele nu se solidifică la temperatură constantă, ci într-un interval de temperaturi. În acest interval, curba de răcire poate prezenta atât paliere, cât şi simple devieri, după cum se va vedea la studiul diagramelor de echilibru.

Procesul de cristalizare a materialelor metalice apare deci la trecerea acestora din stare lichidă în stare solidă. Când metalul lichid atinge temperatura de solidificare, în masa acestuia apar primele cristale elementare care au forma corespunzătoare sistemului cristalografic al metalului. În continuare, alţi atomi se ordonează în jurul celulelor cristaline elementare, formând reţele cristaline spaţiale, cu orientări diferite şi cu mărimi diferite.

Centrele de cristalizare iau naştere în întreaga masă a metalului lichid. La început, cristalele cresc pe direcţia axelor principale *1* (fig.2.8.a), apoi, pe aceste axe, în anumite puncte, apar ramificaţii care cresc şi se îngroaşă după axele *2* şi *3*. Cristalele care se formează au formă arborescentă şi se numesc *dendrite* (de la cuvântul grecesc *dendron* = arbore). În spaţiile libere dintre axele primare, secundare şi terţiare ale dendritelor cristalizează şi restul metalului lichid, formându-se grăunţi cristalini. Dar pentru că braţele dendritelor vecine vin în contact, ele se contopesc şi dau naştere unor cristale după diferite direcţii (fig.2.8.b).

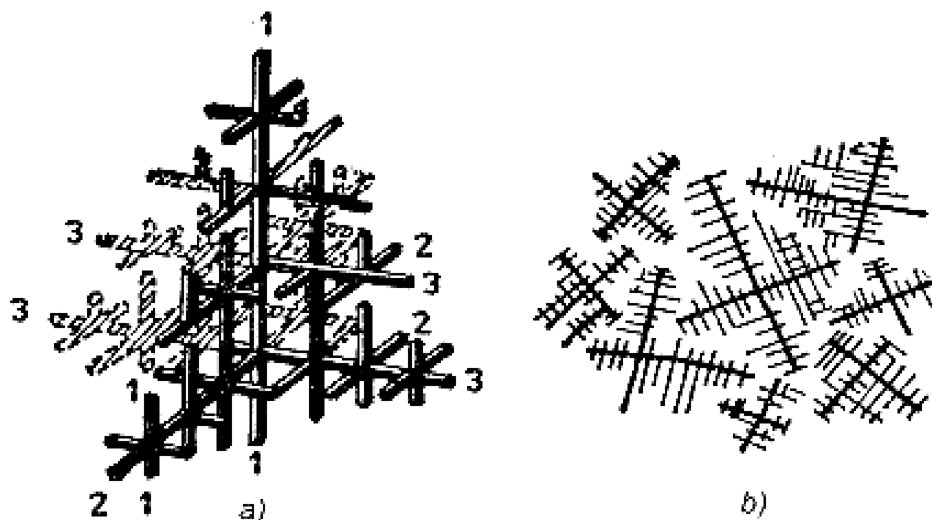


Fig. 2.8. Schema formării dendritelor.

2.4. Teoria aliajelor

2.4.1. Generalităţi

Aliajul este un material omogen sau eterogen cu proprietăţi metalice, obţinut prin difuziunea a două sau mai multor elemente chimice, dintre care componentul principal este un metal. De cele mai multe ori, difuziunea componenţilor se produce în stare lichidă; se pot obţine însă aliaje şi prin difuziune în stare solidă, prin condensare din stare gazoasă sau prin precipitare şi prin electroliză din soluţii apoase. De obicei, aliajele au proprietăţi diferite de cele ale componenţilor, cea mai importantă fiind temperatura de topire care este mai joasă decât cele ale componenţilor, dar se pot modifica şi conductibilitatea electrică, duritatea, densitatea etc.

Clasificarea aliajelor se face după criteriile prezentate în fig.2.9.

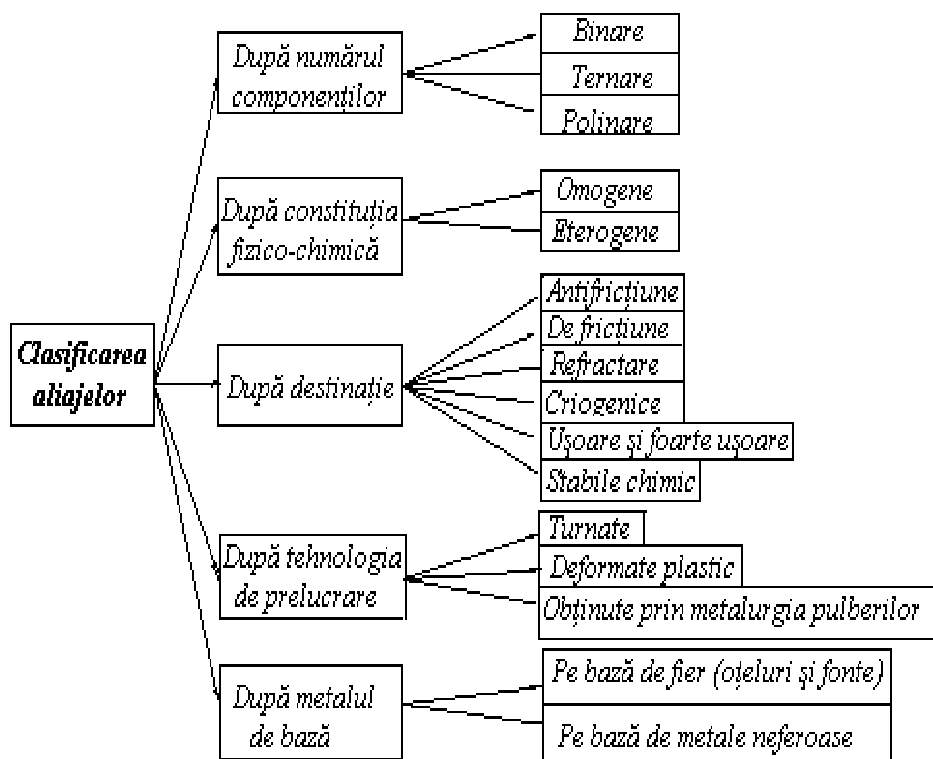


Fig.2.9. Clasificarea aliajelor.

Aliajele binare au doi componenţi (Fe-C, Cu-Sn, Cu-Zn, Pb-Sn), cele ternare, trei componenţi (Fe-C-Mn, Fe-C-Cr, Al-Cu-Mg), iar cele polinare, mai mulţi componenţi (oţelurile-carbon şi aliate sau diversele aliaje neferoase).

Aliajele omogene au aceeaşi compoziţie şi aceleaşi caracteristici fizico-chimice în toată masa lor şi se numesc *faze*, iar aliajele eterogene cuprind părţi omogene diferite, delimitate prin suprafeţe de separare, fiind formate deci din mai multe faze. Constituenţii omogeni sau fazele sunt de trei feluri: metale pure, soluţii solide şi compuşi intermetalici.

a) - Metalul pur este alcătuit dintr-un singur fel de atomi, având o temperatură de topire bine stabilită, conductibilităţi termică şi electrică ridicate, plasticitate mare şi rezistenţă la rupere scăzută. În realitate, un metal mai conţine, în proporţii reduse, şi atomi ai altor elemente, gradul mediu de puritate ajungând la 99,99 % sau chiar la 99,9999 % (Al, Zn). După turnare şi recoacere, metalul pur apare la microscop sub forma unor grăunţi poligonali care se pot evidenţia prin atac cu reactivi metalografici, iar după deformare plastică şi recoacere, în structură apar cristale maclate. Aceste macle se văd la microscop sub forma unor benzi colorate.

b) - Soluţia solidă este un amestec la scară atomică a cel puţin două metale sau al unui metal şi al unui metaloid care formează la solidificare o singură fază. După modul de alcătuire a reţelei cristaline soluţiile solide pot fi:

- *soluţie solidă de substituţie* (fig.2.10.a) la care atomi ai componentului dizolvat înlocuiesc în reţeaua cristalină atomi ai metalului solvent. De obicei, atomii componentului de aliere sunt distribuiţi în reţeaua cristalină în mod aleator (soluţie solidă dezordonată), dar în anumite condiţii de temperatură şi concentraţie, ei pot fi distribuiţi în mod ordonat (soluţie solidă ordonată). Ordonarea este însoţită de creşterea durităţii, rezistenţei la rupere şi conductibilităţii electrice.

- *soluţie solidă de interstiţie* (fig.2.10.b) la care atomii componentului dizolvat, fiind mai mici, pătrund între atomii metalului solvent, cu sau fără deranjarea reţelei acestuia. Şi în acest caz soluţia solidă este preponderent dezordonată şi, mai rar, ordonată. Cele mai cunoscute soluţii de interstiţie se întâlnesc la aliajele fier-carbon şi sunt ferita şi austenita.

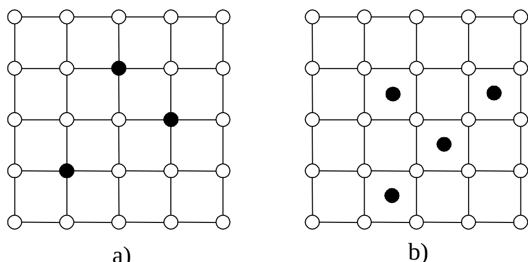


Fig. 2.10. Soluţii solide.

c) - Compusul intermetalic este o asociaţie de atomi similară cu a compuşilor chimici, cu formula *AmBn* şi care respectă legea valenţei (Mg_2Si, Mg_2Sb_2, Mg_2Pb, MgTe) sau nu o respectă (CuBe, CuZn, Cu_5Sn, Cu_3Sn_8, Ni_3Al, NiAl, Ni_2Al_3). Compusul intermetalic are o reţea cristalină proprie care diferă de cele ale componenţilor şi o temperatură de topire proprie şi constantă care este mai mare decât temperaturile de topire ale metalelor *A* şi *B*. De asemenea este dur şi fragil şi slab conducător de căldură şi electricitate.

Compuşii intermetalici se împart în trei clase principale:

- *compuşi electrochimici* care au valenţă normală şi prezintă legături ionice şi covalente (NaCl, $CaFe_2$, ZnS, FeS);

- *compuşi de tip geometric* la care criteriul predominant de formare este raportul dintre dimensiunile atomilor componenţi ($MgCu_2$, $MgZn_2$, $MgNi_2$);

- *compuşi electronici* al căror criteriu de formare îl reprezintă concentrația electronilor (CuZn, AgCd, NiAl).

2.4.2. Diagrame de echilibru

2.4.2.1. Generalități. *Diagrama de echilibru* este o reprezentare grafică din care rezultă relația dintre temperatura, concentrația şi starea fizică a unui sistem, în condiții de echilibru. Presiunea se consideră constantă, întrucât majoritatea proceselor metalurgice au loc la presiunea atmosferică, turnarea sub presiune sau în vid fiind cazuri particulare.

Alcătuirea unei diagrame de echilibru porneşte de la trasarea curbelor de răcire pentru sistemul de aliaje considerat, luându-se un număr de aliaje de referință, inclusiv componenții puri. În cele ce urmează, se vor studia numai sistemele de aliaje binare. Pentru un aliaj binar, format din metalele *A* şi *B*, se trasează următoarele curbe de răcire (fig. 2.11): *I*, pentru 100 % A; *II* – 75 % A şi 25 %B; *III* – 50 %A şi 50 % B; *IV* – 25 % A şi 75 % B; *V* – 100 % B. După cum s-a mai menționat, curbele de răcire ale metalelor pure prezintă paliere, iar cele ale aliajelor, intervale de temperaturi. Punctele critice de pe curbele de răcire se translatează într-un sistem de coordonate temperatură-concentrație şi unind punctele cu aceeaşi semnificație se obțin curbele *lichidus* (1-2-3-4-5) şi *solidus* (1'-2'-3'-4'-5'). Deasupra liniei lichidus sistemul de aliaje se prezintă în stare lichidă,

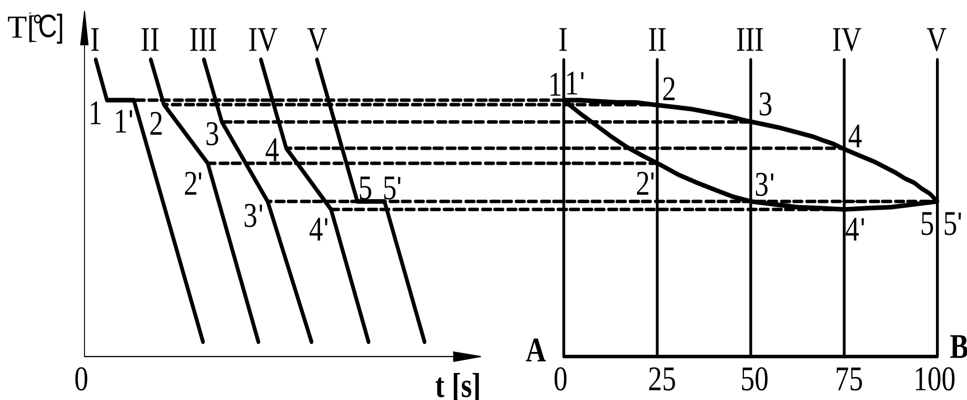


Fig. 2.11.Trasarea unei digrame de echilibru.

sub linia solidus, în stare solidă, iar între cele două curbe, atât în stare lichidă, cât şi în stare solidă (soluție lichidă şi cristale solide).

Diagramele de echilibru ale aliajelor binare se pot clasifica după solubilitatea componenților în stare lichidă şi solidă, conform schemei prezentate în fig.2.12.

Studiul diagramelor de echilibru este important pentru că pe baza lui se pot trage concluzii privind proprietățile fizico-chimice, mecanice şi tehnologice (îndeosebi turnarea şi tratamentele termice) ale aliajelor la care se referă diagrama.

2.4.2.2. Diagrama de echilibru de clasa *A*. Componenţii *A* şi *B* prezintă solubilitate totală în stare lichidă, insolubilitate în stare solidă şi nu formează compuşi intermetalici (fig. 2.13). Deasupra liniei lichidus *ADB* (fig. 2.13.a), aliajele sunt în stare lichidă, între liniile lichidus şi solidus sunt parţial solidificate, iar sub linia solidus *CDF* toate aliajele sunt solidificate. Componentul pur *A* se solidifică (sau se topeşte) în punctul *A* , iar componentul pur *B*, în punctul *B*.

Aspectul diagramei arată că cele două ramuri ale curbei lichidus, *AD* şi *DB*, se întâlnesc pe linia solidus *CDF*, în punctul *D* care reprezintă punctul cu cea mai scăzută temperatură de topire, numit *eutectic*. Aliajele din stânga punctului eutectic se numesc *hipoeutectice*, cele din dreapta, *hipereutectice*, iar cel corespunzător punctului eutectic, *aliaj eutectic*.

Pentru studiul diagramei din fig. 2.13 se iau în calcul trei aliaje, *I*, *II* şi *III*. Cristalizarea aliajului *I* începe atunci când lichidul ajunge la temperatura punctului *1*. Din acest moment, până la temperatura eutectică *2*, din lichid se separă prin

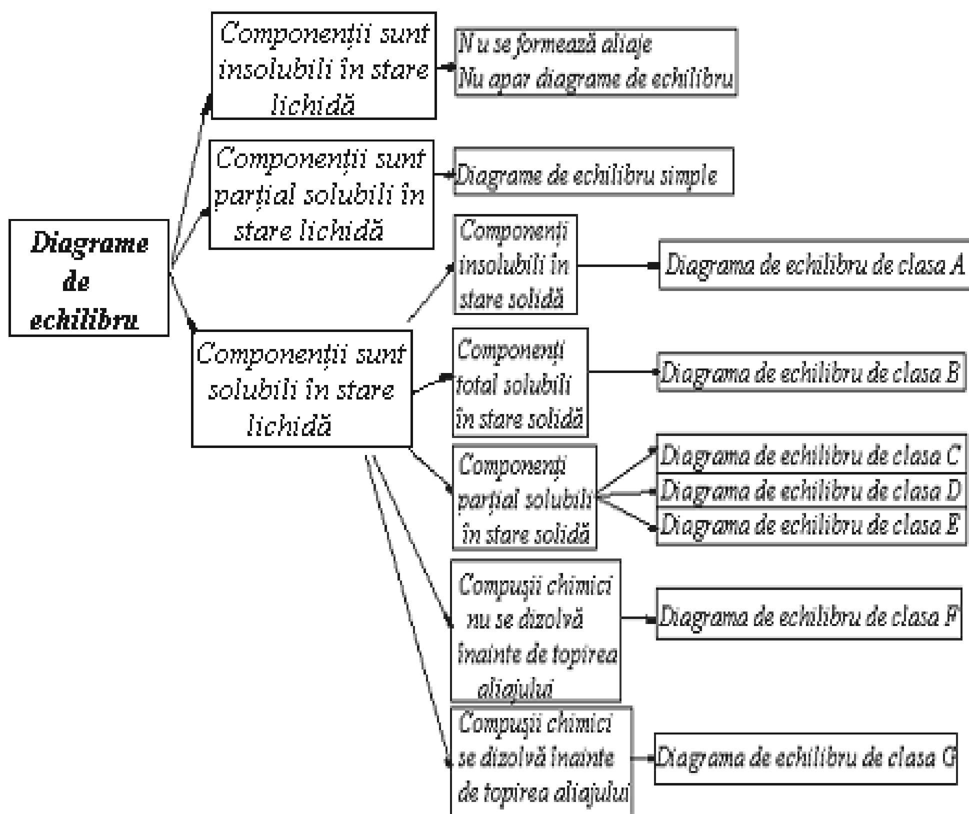


Fig. 2.12. Clasificarea diagramelor de echilibru.

cristalizare componentul *A* (fig.2.13.b). Între *2* şi *2'* lichidul rămas L_2 va cristaliza simultan, la temperatură constantă, în componenţii *A*+*B*, dispuşi în cadrul aceluiaşi grăunte, sub formă lamelară, globulară etc. La temperatura obişnuită, aliajul *I* va fi format din doi constituenţi structurali: din componentul *A*, separat primar şi

agregatul cristalin *A+B*, separat eutectic (fig.2.13.d).

Cristalizarea aliajului *II* începe, de asemenea, în momentul în care temperatura acestuia atinge temperatura curbei lichidus. Deoarece acest punct al curbei lichidus (*D*) se află la aceeaşi temperatură cu a curbei solidus, rezultă că la această concentrație aliajul se solidifică precum un metal pur, cu separarea unui amestec mecanic de *A+B*. Acest aliaj se numeşte *aliaj eutectic* şi se caracterizează prin faptul că are cel mai jos punct de solidificare (topire) față de toate celelalte aliaje ale sistemului, precum şi față de metalele pure *A* şi *B*.

Cristalizarea aliajului *III* este asemănătoare cu a aliajului *I*. În acest caz însă între punctele *1* şi *2* se separă componentul *B*, aflat în exces. Între *2* şi *2*' lichidul rămas L_2 va cristaliza simultan, la temperatură constantă, în componenții *A+B*. La temperatura obişnuită, aliajul *III* va fi format din componentul *B* şi agregatul cristalin *A+B*. În fig.2.13.c este reprezentată diagrama repartiției constituenților sau diagrama Tammann[3] care, printr-o construcție grafică simplă, permite să se calculeze în procente proporțiile celor doi constituenți pentru orice concentrație, precum şi proporția de eutectic.

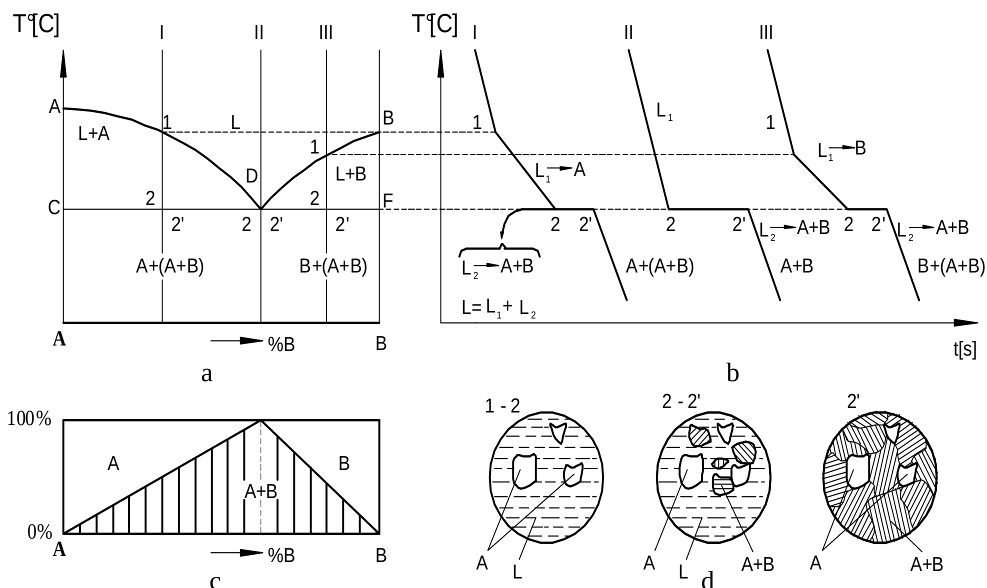


Fig. 2.13 Diagrama de echilibru de clasa A.

Ca exemplu de diagramă practică de echilibru de clasa A, în fig.2.14 este prezentată diagrama de echilibru Cd-Bi. Tot din această clasă mai fac parte aliajele Pb-Ag, Pb-Sb, Mg-Si etc.

[3] *Gustav TAMMANN* (1861-1938) – chimist rus care, după Revoluția bolşevică, a emigrat în Germania. A studiat structura internă şi proprietățile fizice şi mecanice ale metalelor şi aliajelor, având şi contribuții însemnate în chimia fizică. În 1903 a trasat diagramele repartiției constituenților pentru diverse aliaje.

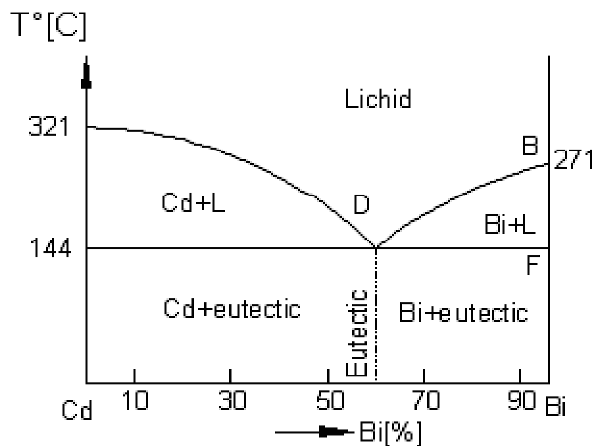


Fig. 2.14. Diagrama de echilibru Cd – Bi.

2.4.2.3. Diagrama de echilibru de clasa *B*. În acest caz, ambii componenţi sunt solubili în orice proporţie atât în stare lichidă, cât şi în stare solidă (fig.2.15).

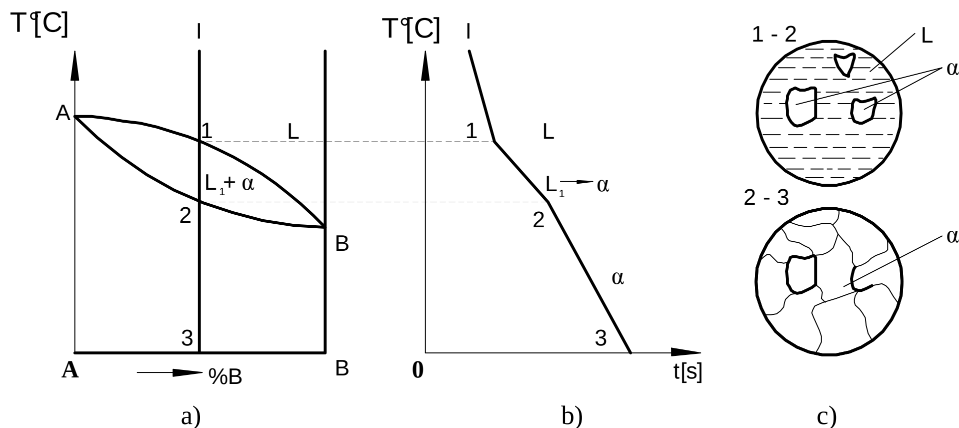


Fig 2.15. Diagrama de echilibru de clasa B.

Curbele lichidus (*A1B*) şi solidus (*A2B*) au aspect lenticular şi, ca urmare, nu vor exista transformări la temperatură constantă. Aliajul *I* începe să se solidifice în punctul *1*, solidificarea terminându-se în punctul *2*.

În porţiunea *1 - 2*, aliajul conţine lichid şi cristale de soluţie solidă *α* (fig.2.15.c). La atingerea temperaturii solidus, cristalizarea se termină. Sub această temperatură, totul este format din soluţie solidă *α*, în care atomii componenţilor *A* şi *B* sunt amestecaţi prin difuziune, formând cristale mixte. Aceasta se întâmplă la răcirea lentă a aliajului. La o răcire mai bruscă, difuziunea de produce numai parţial, cristalele *α* fiind mai bogate în componentul *A* la interior, şi mai bogate în componentul *B* la exterior.

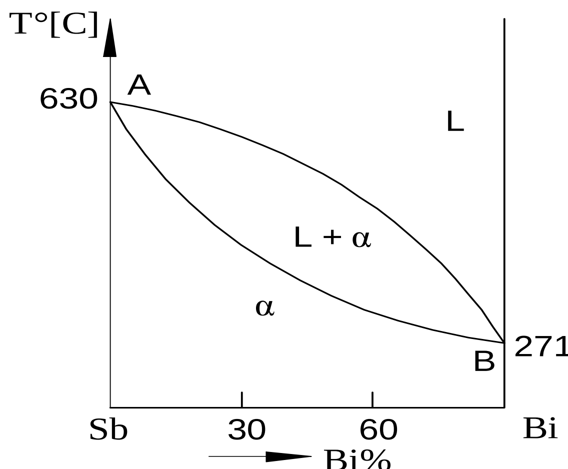


Fig..2.16. Diagrama de echilibru Sb-Bi.

Se obține astfel o soluție solidă neomogenă, iar fenomenul se numeşte *segregare intercristalină* care se poate înlătura printr-o recoacere de omogenizare. Asemenea diagrame se întâlnesc în practică la un număr mare de sisteme binare, cum sunt: Cu-Ni, Sb-Bi, Co-Ni, Cu-Pt, Fe-Co, Fe-Ni etc. În fig. 2.16 este prezentată diagrama de echilibru Sb-Bi.

2.4.2.4. Diagrama de echilibru de clasa *C* (cu eutectic). În acest caz, ambii componenți sunt solubili în orice proporție în stare lichidă şi parțial solubili în stare solidă. Diagramele aliajelor de acest tip (fig. 2.17) cuprind următoarele domenii: lichid *L*, soluție solidă de component *B* în *A* (soluție solidă α), soluție solidă de component *A* în *B* (soluție solidă β), $L+\alpha$, $L+\beta$, precum şi $\alpha+(\alpha+\beta)$ şi $\beta+(\alpha+\beta)$. Linia lichidus este *ACB*, iar solidus *ADEB*. Punctul *D* reprezintă saturația în *B* a soluției α, iar punctul *E*, saturația în *A* a soluției β. Solubilitatea componentului *B* în *A* este determinată de curba *DF*, iar solubilitatea componentului *A* în *B*, de curba *EG*. Aliajele cuprinse între aceste limite sunt compuse din eutectic $\alpha+\beta$ şi cristale de α sau β.

Considerând solidificarea aliajului *I*, se vede că deasupra punctului *1* aliajul este lichid; în punctul *1* începe solidificarea, cu separarea cristalelor de soluție solidă α, iar în punctul *2* se termină cristalizarea, cristalele solide având concentrația solidului inițial (fig. 2.17.d). Până în punctul *3*, cristalele nu se modifică. Sub punctul *3*, din soluția solidă α încep să se separe cristale de soluție solidă β, numite cristale secundare şi notate cu β_{II}.

Aliajul *II* cristalizează în două etape distincte. În prima fază, în intervalul de temperatură *1-2*, se formează soluția solidă α, iar la temperatura eutectică restul de lichid va da naştere ambelor faze α şi β, sub formă lamelară sau globulară, în cadrul aceluiaşi grăunte. Structura acestui aliaj, imediat sub *2'*, va fi formată din cristale de soluție solidă α şi cristale de eutectic $\alpha+\beta$. Aliajul solidificat va conține deci soluție primară α, eutectic $\alpha+\beta$ şi grăunți mărunți de cristale β_{II} (fig. 2.17.d).

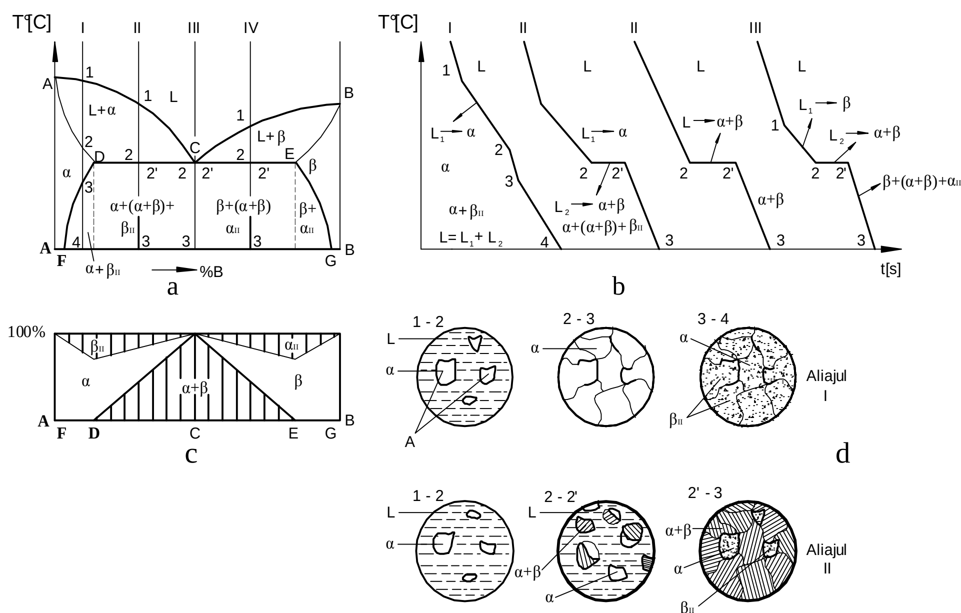


Fig. 2.17. Diagrama de echilibru de clasa *C*.

Aliajul *III* care are compoziţia eutectică va cristaliza la temperatura constantă *2-2'*, iar structura acestuia va fi formată dintr-un singur constituent structural, şi anume agregatul cristalin $\alpha+\beta$.

Aliajul *IV* cristalizează asemănător cu aliajul *II*, cu deosebirea că separaţia primară este soluţie solidă β, iar în intervalul *2-2'*, restul de lichid se transformă în fazele α şi β. Aliajul solidificat conţine soluţie primară β, eutectic $\alpha+\beta$ şi grăunţi mărunţi de cristale α_{II}.

În fig.2.17.c este prezentată diagrama repartiţiei constituenţilor, iar în fig.2.18, diagrama de echilibru Pb-Sn, ca exemplu de diagramă practică de clasa *C*. Tot din această clasă face parte şi aliajul Cu-Ag.

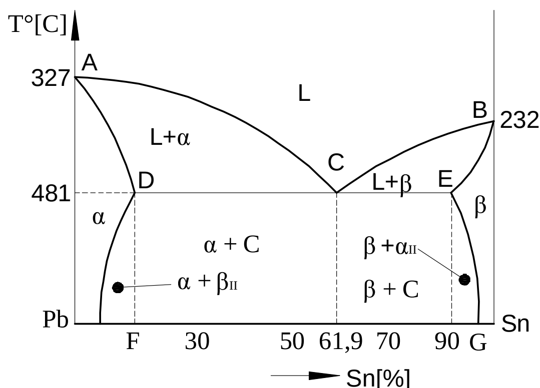


Fig.2.18. Diagrama de echilibru Pb-Sn.

2.4.2.5. Diagrama de echilibru de clasa *D* (cu peritectic). *Transformarea peritectică* este o reacție între o soluție solidă şi lichidul din care ea s-a separat, cu formarea unei alte soluții solide. Şi această diagramă prezintă caracterele unei solubilități totale în stare lichidă şi limitate în stare solidă.

Cristalizarea aliajului *I* (fig.2.19) începe în punctul *1*, cu separarea din lichid a soluției solide *β*. Pe măsură ce cristalizarea continuă, concentrația lichidului se modifică după linia lichidus, până în punctul *C*, iar soluția solidă *β* ce se formează în continuare prezintă o compoziție chimică variabilă după curba *BE*.

Când aliajul ajunge la temperatura orizontalei peritectice, lichidul are compoziția chimică a punctului *C*, iar solidul a punctului *E*. La temperatura constantă *2-2'*, lichidul va reacționa cu solidul format anterior, iar solidul se transformă din *β* în *α* (reacție peritectică). După încheierea reacției peritectice, între *2'* şi *3*, lichidul rămas va cristaliza în *α* (fig.2.19.d).

Aliajul *II* începe să cristalizeze în punctul *1*, formând soluția solidă *β*. La orizontala peritectică, lichidul, având un exces de *A*, va reacționa parțial cu solidul separat primar, până când ajunge la compoziția chimică a punctului *D*. În aceste condiții, lichidul se va transforma într-un aliaj format din ambele soluții solide (*α*+*β*). În intervalul de temperatură *2'-3*, excesul de atomi de *A*, din soluția solidă *β*, va forma separația secundară α_{II}, după curba *EG*. Diagrama repartiției constituenților (diagrama Tammann) este prezentată în fig.2.19.c. Ca exemple de diagrame cu peritectic se menționează sistemele Pt-Ag, Cu-Zn, Cu-Sn, Co-Os, In-Ti etc.

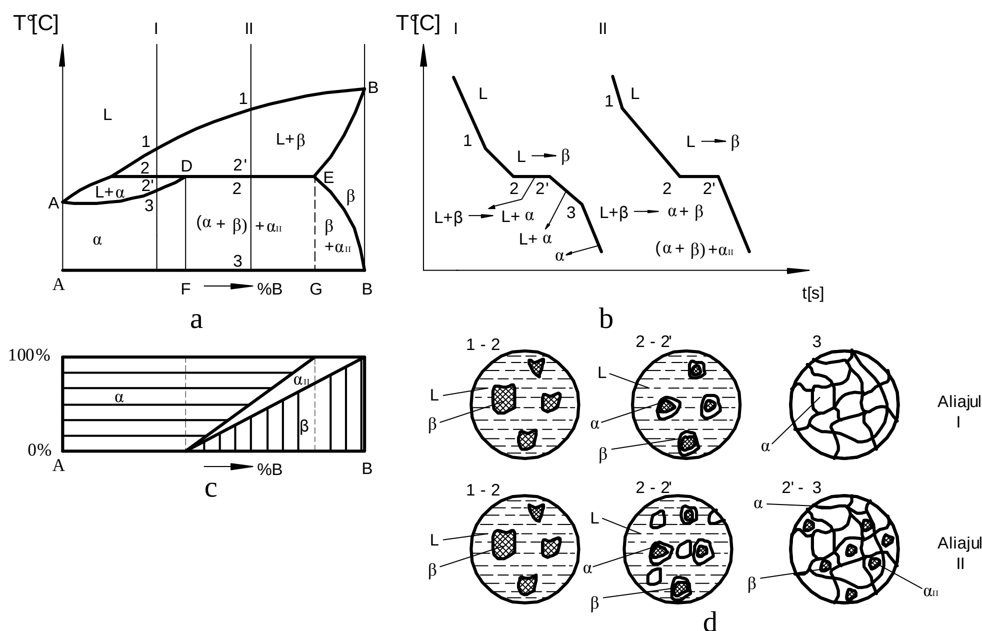


Fig. 2.19. Diagrama de echilibru de clasa *D*.

2.5. Dicționar român-englez-francez de cuvinte-cheie

cristalografie	crystallography	cristallographie (*f*)
alotropie	allotropy	allotropie (*f*)
rețea cristalină	crystal lattice	réseau(*m*) cristallin
curbă de încălzire	heating curve	courbe (*f*) de chauffage
curbă de răcire	cooling curve	courbe (*f*) de refroidissement
dendrită	dendrite	dendrite (*f*)
soluție solidă	solid solution	solution (*f*) solide
compus intermetalic	intermetallic compound	composé (*m*)intermétallique
diagramă de echilibru	equilibrium diagram	diagramme (*m*)d'équilibre
aliaj eutectic	eutectic alloy	alliage (*m*) eutectique
aliaj hipoeutectic	hypoeutectic alloy	alliage (*m*) hypoeutectique
aliaj hipereutectic	hypereutectic alloy	alliage (*m*) hypereutectique
transformare peritectică	peritectic transformation	transformation (*f*) péritectique

3

ALIAJE FIER-CARBON

3.1. Generalități

Aliajele fier-carbon numite *fonte* şi *oțeluri* sunt cele mai cunoscute materiale metalice utilizate în tehnică datorită răspândirii largi în scoarța pământului a materiilor prime din care provin, metalurgiei relativ simple, proprietăților fizico-mecanice bune şi care pot fi modificate în limite largi prin aliere şi tratamente termice, prețului de cost relativ scăzut, posibilităților de prelucrare prin toate procedeele tehnologice existente şi reciclării prin retopire.

Fierul este un metal de culoare cenuşie-albăstruie, cu proprietățile fizico-mecanice prezentate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. **Proprietățile fizico-mecanice ale fierului**

Proprietăți fizice							Proprietăți mecanice						
ρ [kg/m^3]	θ_t [ºC]	c_p [J/kg·K]	λ [W/m·K]	α [K^{-1}] (la 100ºC)	ρ [μΩ·m]	σ [MS/m]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]	Z [%]	KCU [kJ/m^2]	HB [MPa]	E [GPa]
$7{,}87 \cdot 10^3$	1538	454	74	11,9	0,0037	270,2	289,5	174,3	47	90	2350	750…1150	210 … 235

Fierul se prelucrează bine prin deformare plastică la cald şi la rece, se sudează, se lipeşte şi are o aşchiabilitate bună.

Elementul principal de aliere a fierului este carbonul care, chiar în cantități mici, îi schimbă proprietățile, conținutul de carbon constituind de fapt criteriul principal de clasificare a fontelor şi oțelurilor. Aliajele fier-carbon mai conțin mangan, siliciu, fosfor, sulf etc. *Manganul* se introduce voit în aliaj, mărindu-i duritatea şi rezistența la uzură, *siliciul* provine din sterilul minereurilor, mărindu-i elasticitatea şi rezistența la oboseală, iar *fosforul* şi *sulful* sunt elemente dăunătoare care nu se pot înlătura complet şi provin din cocs, iar în cocs, din cărbuni. Fosforul produce fragilitate la rece, iar sulful, fragilitate la cald.

Desigur, fierul se poate alia cu orice cantitate de carbon, dar din punct de vedere tehnic interesează doar aliajele fier-carbon care conțin 0,006…6,67 % C. Practic, se utilizează oțeluri cu până la 1,5 % C şi fonte cu până la 4,5 % C.

3.2. Diagrama fier-carbon

Cel mai important element chimic de aliere a fierului este carbonul, împreună cu care realizează o diagramă cu solubilitate totală în stare lichidă şi parţial solubilă în stare solidă. Carbonul poate să apară în diagrama fier-carbon sub două aspecte: în stare pură , sub formă de grafit, sau sub forma compusului chimic Fe_3C numit *cementită*. Ca urmare, pe diagrama fier-carbon apar două grupuri de curbe de transformare, unele indicând separarea cementitei, iar altele separarea grafitului. Deoarece cementita se descompune la temperaturi înalte, aliajele cu grafit sunt în echilibru stabil, iar sistemul cu cementită este considerat metastabil (care aparent este stabil, dar care la cea mai uşoară perturbaţie exterioară se distruge). Ele diferă de altfel în foarte mică măsură. Liniile diagramei cu cementită, trasate cu linii pline, sunt deplasate la dreapta şi în jos faţă de cele ale diagramei stabile fier-grafit, trasate cu linii întrerupte (fig. 3.1).

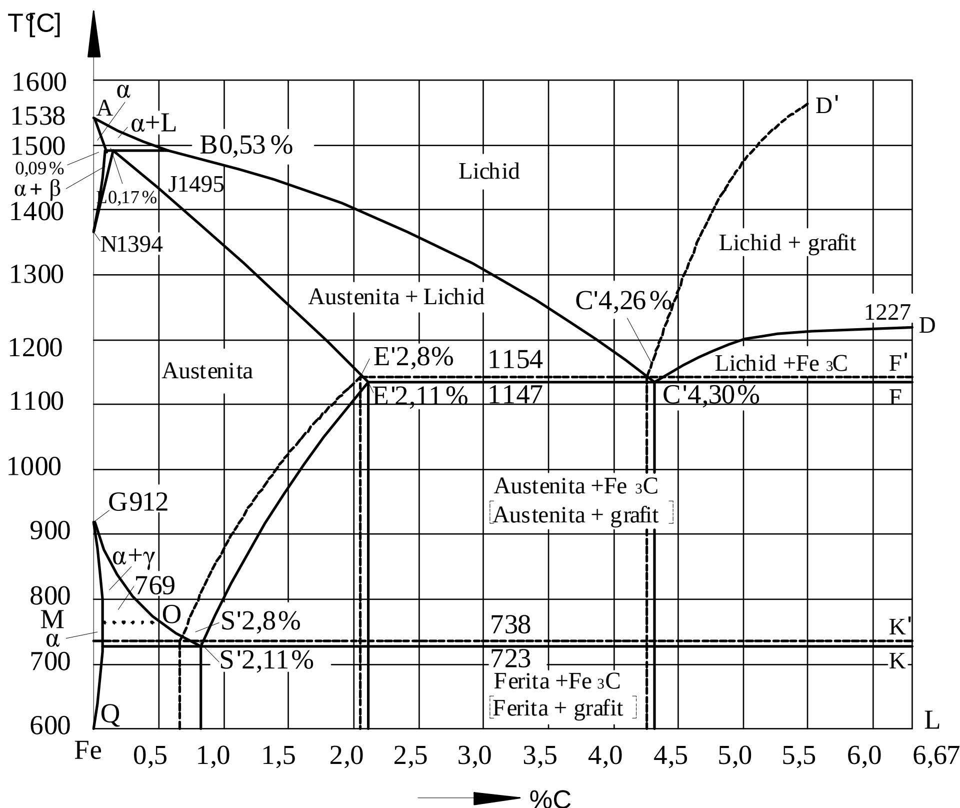


Fig.3.1. Diagrama fier-carbon.

Apariţia a două feluri de linii în diagrama fier-carbon se datorează deci fie unei răciri lente a aliajelor (diagrama fier-grafit, trasată cu linii întrerupte), fie unei răciri mai rapide (diagrama fier-cementită, trasată cu linii continue). Diagrama fier-

grafit nu prezintă importanţă practică, ea fiind utilizată numai pentru înţelegerea grafitizării fontelor de turnătorie. Diagrama fier-cementită are o mare importanţă practică şi va fi studiată în cele ce urmează.

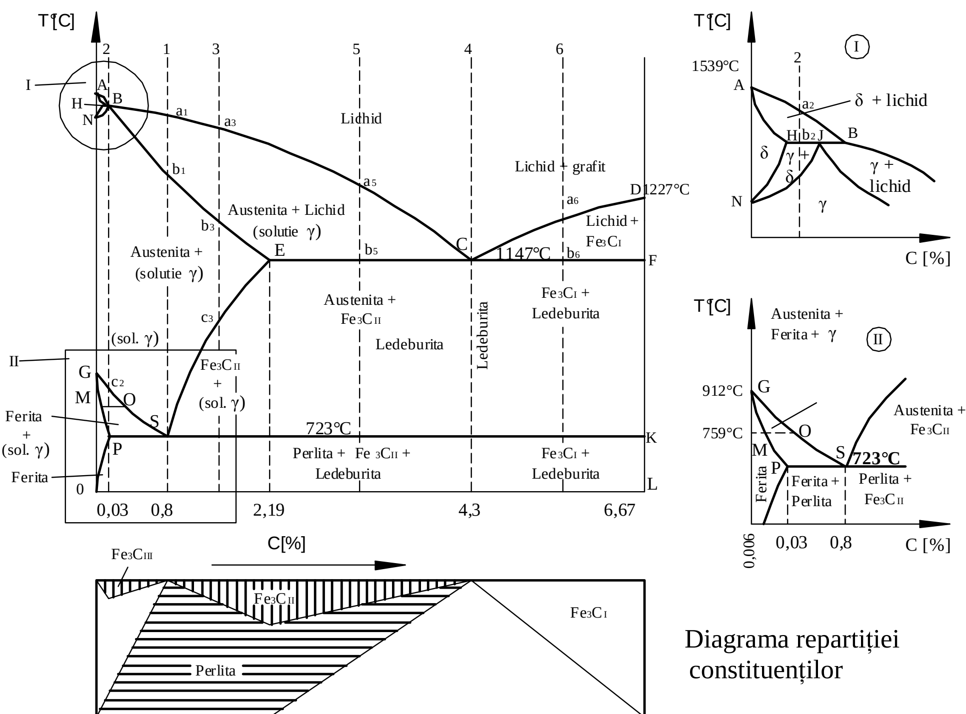


Fig.3.2. Diagrama fier-cementită.

Aspectul diagramei fier-cementită este prezentat în fig.3.2, notarea punctelor caracteristice făcându-se prin anumite litere care sunt acceptate unanim în toate ţările lumii. Diagrama se trasează experimental prin ridicarea curbelor de răcire ale unui număr cât mai mare de aliaje fier-carbon (1...6). Ea conţine următorii constituenţi metalografici:

- **ferita** este o soluţie solidă de carbon în Feα, cu un conţinut foarte redus de carbon (0,03 % la 723°C şi 0,006 % la temperatura obişnuită). Este moale, maleabilă şi feromagnetică până la 769°C (punctul Curie[1] al fierului), devenind paramagnetică peste această temperatură (*feromagnetismul* este proprietatea unor metale de a fi atrase puternic de câmpul magnetic şi de a căpăta astfel o magnetizare permanentă, intensă şi de acelaşi sens cu câmpul magnetic, iar *paramagnetismul* este pro-

[1] *Pierre CURIE* (1859-1906) – fizician şi chimist francez care, în 1895, a descoperit dispariţia feromagnetismului la 769°C (temperatura sau punctul Curie), peste care corpurile feromagnetice devin paramagnetice. A mai descoperit piezoelectricitatea (1880) şi a avut contribuţii în domeniile magnetismului şi radioactivităţii. Împreună cu soţia sa Maria Skłodovska-Curie a descoperit şi izolat elementele radiu şi poloniu (1898). A enunţat principiul simetriei cristalelor (1894) şi a fost distins cu Premiul Nobel pentru fizică (1903), împreună cu soţia sa şi cu Henry Becquerel.

prietatea unor corpuri de a se magnetiza slab şi temporar prin introducerea lor într-un câmp magnetic);

- **cementita** (Fe_3C) este un compus chimic cu 6,67 % C, foarte dur şi casant (HB=700-800 daN/mm^2), rezistent la acțiunea reactivilor metalografici. Prin menținerea îndelungată la temperaturi superioare punctului de 723 °C cementita devine instabilă, descompunându-se ireversibil în ferită şi grafit. După aspectul microscopic poate fi lamelară, globulară, în rețea sau aciculară, iar după momentul de apariție, *cementită primară* (Fe_3C_I) care apare direct din faza lichidă, *cementită secundară* (Fe_3C_{II}) care se prezintă sub formă aciculară în insule sau în rețea intercristalină şi se separă din faza solidă şi *cementită terțiară* (Fe_3C_{III}) care se separă din ferită la temperaturi sub 723 °C, producând o scădere a plasticității fierului. Este foarte fragilă (KCU=0), se topeşte la aproape 1600 °C, este slab feromagnetică sub 210 °C şi îşi pierde proprietățile magnetice peste această temperatură;

- **perlita** este un amestec mecanic de ferită şi cementită secundară cu 0,8%C, separându-se din faza solidă la 723 °C. Are o duritate medie (HB=200 daN/mm^2), o înaltă rezistență mecanică (R_m=800...850 N/mm^2), alungire la rupere bună (A=15 %), o reziliență satisfăcătoare şi este feromagnetică. După aspectul microscopic, perlita poate fi lamelară, globulară sau în rozetă;

- **austenita** (după numele metalurgului englez Roberts Austen[2]) este o soluție solidă interstițială de carbon în fier *γ*, putând conține până la 2,11 % C la 1147°C. În oțeluri-carbon şi fonte este stabilă la peste 723°C, în oțelurile mediu aliate călite este nestabilă (austenită reziduală), iar în oțelurile înalt aliate este stabilă chiar şi la temperatura obişnuită. Are rezistență mecanică mare (R_m=750 N/mm^2) şi este relativ moale (HB=200), plastică (A=50 %), tenace (KCU=20 daN/cm^2), rezistentă la coroziune şi nemagnetică;

- **ledeburita** (descoperită de metalurgul german Adolf Ledebur[3])este un aliaj eutectic cu 4,3% C, separat la 1147 °C şi format din austenită şi cementită. Sub 273°C, austenita din ledeburită se transformă în perlită şi cementită. Este dură şi fragilă, iar la microscop are aspect de piele de leopard.

Punctele principale ale diagramei se notează identic în toate țările, fiind prezentate în tabelul 3.2. Curba *ABCD* de pe diagrama fier-cementită este *linia lichidus*, iar *AHJECF* este *linia solidus*. De asemenea, pe diagramă mai apar linii de transformare în stare solidă (tabelul 3.3 şi fig. 3.3).

Aliajele Fe-C care conțin 0,006-2,11 % C se numesc *oțeluri* şi după conținutul de carbon se împart în:

- *oțeluri hipoeutectoide* (0,006-0,8 % C) care au în structură ferită şi perlită, perlita crescând proporțional cu creşterea conținutului de carbon;

- *oțeluri eutectoide* (0,8 % C) care, după recoacere, au în structură numai perlită;

---

[2] Sir *William Chandler Roberts AUSTEN* (1843-1902) – metalurg şi profesor la celebra Şcoală Regală de Mine din Londra. A studiat structura şi proprietățile oțelului şi a trasat diagrama fier-carbon în formă preliminară (1897) şi apoi în formă finală (1899).

[3] *Adolf LEDEBUR* (1837-1906) – metalurg german şi profesor la faimoasa Bergakademie din Freiberg. A avut contribuții la studiul transformărilor de fază şi la procesele de cristalizare a aliajelor, punând în evidență creşterea grăunților de austenită la supraîncălzire. A descoperit ledeburita în 1882.

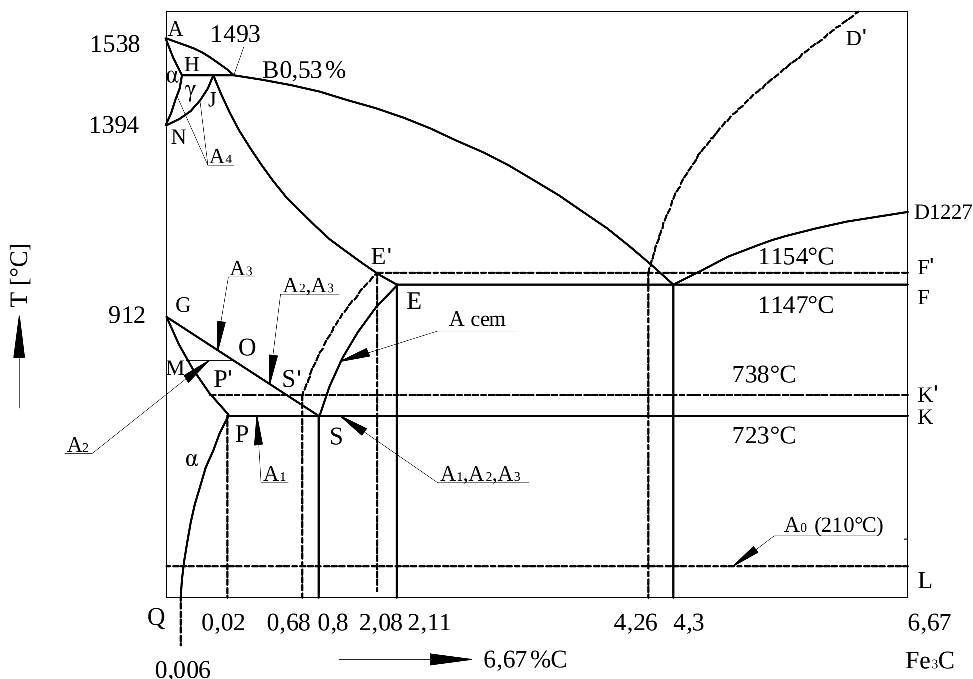


Fig. 3.3. Liniile de transformare ale diagramei fier-cementită.

Tabelul 3.2. **Punctele principale ale diagramei Fe-C**

Notație	Denumirea punctului critic	Temperatura [°C]	Concentrația de carbon [%]
A	Punctul de topire a fierului pur	1538	0
B	Punct de tranziție	1493	0,53
J	Punct peritectic	1493	0,16
H	Punctul de solubilitate maximă a carbonului în Feδ	1493	0,09
N	Punct de transformare alotropică (Feδ↔Feγ)	1394	0
D	Punctul de topire a cementitei	1227	6,67
E	Punctul de solubilitate maximă a carbonului în Feγ (sistem metastabil)	1147	2,11
C	Punct eutectic (sistem metastabil)	1147	4,3
F	Punct de tranziție	1147	6,67
G	Punct de transformare (Feγ↔Feα)	912	0
M	Punctul de transformare magnetică	769	0,01
O	Punctul de transformare magnetică	769	0,5
P	Punctul de solubilitate maximă a carbonului în Feα	723	0,02
S	Punct eutectoid (sistem metastabil)	723	0,8
K	Punct de tranziție	723	6,67
Q	Punctul de solubilitate maximă în Feα la temperatura ambiantă	20	0,006
L	Punct de tranziție	20	6,67

Tabelul 3.3. **Liniile de transformare ale diagramei fier-cementită**

Linia	Denumirea liniei de transformare	Temperatura [°C]
JN (A_4)	Începutul transformării soluţiei solide γ în soluţie solidă δ(α)	1493-1394
HN (A_4)	Sfârşitul transformării soluţiei solide γ în soluţie solidă δ(α)	1493-1394
ES (A_{cem})	Separarea cementitei secundare C_{II} din austenită la răcire	1147-723
GOS (A_3^*)	Începutul transformării austenitei în ferită	912-723
GP	Sfârşitul transformării austenitei în ferită	912-723
MO (A_2)	Temperatura Curie a feritei	769
PSK (A_1)	Sfârşitul transformării eutectoide a austenitei în perlită	723
A_0	Temperatura Curie a cementitei	210

**Observaţie*: Linia A_3 se notează cu A_{r3} (arrêt refroidissement) la răcire şi cu A_{c3} (arrêt chauffage) la încălzire. Observaţia este valabilă şi pentru liniile A_2 (A_{r2}, A_{c2}), A_1(A_{r1}, A_{c1}) şi A_{cem}($A_{r\,cem}$, $A_{c\,cem}$).

- *oţeluri hipereutectoide* (0,8-2,11 % C) care au în structură cementită secundară şi perlită.

Aliajele Fe-C ce conţin 2,11-6,67 % C se numesc *fonte* şi după conţinutul de carbon se împart în:

- *fonte hipoeutectice* (2,11-4,3 % C) care au în structură perlită şi ledeburită;
- *fonte eutectice* (4,3 % C) care au în structură numai ledeburită;
- *fonte hipereutectice* (4,3-6,67 % C) care au în structură ledeburită şi cementită.

3.3. Fonte

3.3.1. Generalităţi

Fonta este un aliaj fier-carbon care conţine 2,11…6,67 % C şi în cantităţi mici, mangan, siliciu, fosfor, sulf etc. Ea se obţine într-o instalaţie complexă numită *furnal*, din minereuri de fier şi mangan, fondanţi pentru formarea zgurei, combustibili prin arderea cărora se dezvoltă căldura necesară topirii materiilor prime solide şi comburant (aer îmbogăţit în oxigen) pentru întreţinerea arderii. În urma unor reacţii fizico-chimice complexe, din furnal rezultă fontă, zgură şi gaz de furnal.

Proprietăţile fontelor variază în limite largi, în funcţie de structura acestora, astfel: masa volumică ρ = 7…7,7 kg/dm^3, rezistenţa la rupere R_m = 10…150 daN/mm^2, alungirea relativă A = 0,2…25 %, rezilienţa KCU = 0…17 daJ/cm^2, duritatea Brinell HB = 120…700 daN/mm^2.

Fontele au proprietăţi slabe de forjabilitate şi sudabilitate, dar se toarnă uşor şi au o capacitate bună de amortizare a vibraţiilor, fapt pentru care se utilizează la construcţia batiurilor maşinilor-unelte. De asemenea, se utilizează cu precădere la fabricarea unor piese turnate care au proprietăţi mecanice bune şi preţuri de cost mai scăzute decât ale celor deformate plastic sau sudate. În cea mai mare parte însă fontele sunt destinate elaborării oţelurilor, prin reducere indirectă.

Clasificarea fontelor se face după mai multe criterii, acestea fiind prezentate în fig.3.4.

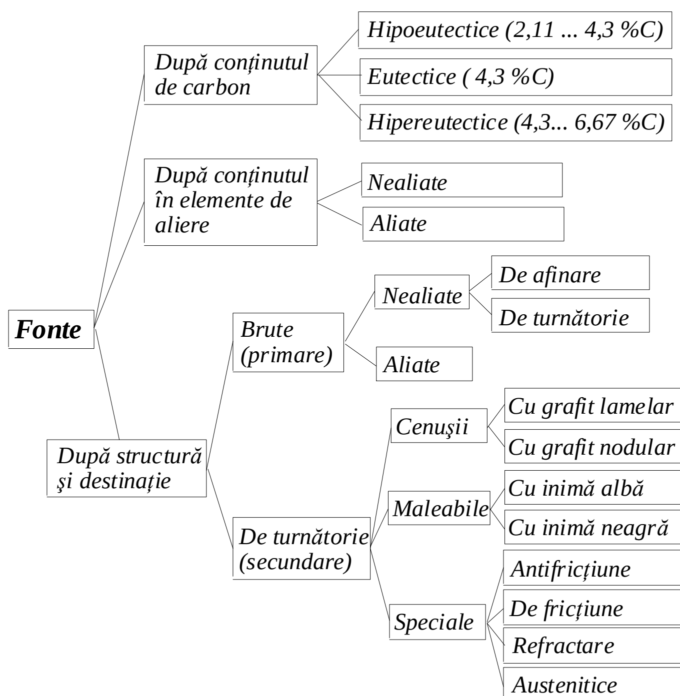


Fig. 3.4. Clasificarea generală a fontelor.

3.3.2. Fonte brute (primare)

Fontele brute sau primare sunt cele obținute în furnal, conținând 2,3…5 %C şi cantități acceptabile de Mn, Si, P, S etc. În funcție de compoziția chimică, felul în care sunt produse şi modul de utilizare, pot fi fonte de afinare, de turnătorie şi aliate.

3.3.2.1. Fonte de afinare. Fontele de afinare sunt fonte de primă fuziune, elaborate în furnal şi datorită conținutului ridicat de mangan se mai numesc *fonte manganoase*, iar pentru că în spărtură au culoare albă, se numesc şi *fonte albe*. Ele reprezintă circa 80% din producția totală de fontă brută, fiind destinate în principal elaborării oțelului în convertizoare şi în cuptoare cu vatră.

Datorită rezistenței ridicate la uzură şi a rezistenței la acțiunea erozivă prin cavitație, prezintă interes pentru turnarea unor piese din instalațiile pentru extragerea, transportul şi prepararea minereurilor (aspiratoare, pompe, conducte, hidrocicloane, blindaje de mori, ciururi, valțuri de măcinare, ajutaje, palete şi discuri). În tabelul 3.4 se prezintă mărcile standardizate (SR EN 10001:1993) şi compozițiile chimice ale fontelor de afinare.

Tabelul 3.4. **Compoziţia chimică a fontelor de afinare**

Denumirea	Marca fontei	Compoziţia chimică [%]				
		C	Si	Mn	P	S
Cu conţinut scăzut de fosfor	Pig – P2	(3,3…4,8)	≤ 1,0	0,4 …6,0 (0,5…1,5)	≤ 0,25	max. 0,06
Cu conţinut ridicat de fosfor	Pig – P20	(3,0…4,5)		≤ 1,5	1,5 … 2,5	max. 0,08

Simbolizarea se face prin literele *Pig* (prescurtare de la denumirea fontei brute în limba engleză – *pig-iron*), urmate de simbolul chimic al fosforului şi de conţinutul mediu al acestuia, în procente, prin împărţire cu 10 (*Pig-P2*). Cifrele care nu sunt între paranteze determină clasificarea fontelor brute, iar cele din paranteze prezintă, informativ, limitele în care se situează conţinuturile reale pentru elemente la care se referă.

3.3.2.2. Fonte brute de turnătorie. Fontele brute de turnătorie sunt destinate elaborării fontei de a doua fuziune, din care se obţin piesele turnate şi se livrează sub formă de blocuri sau sub formă de granule. Datorită conţinutului mare de siliciu, se mai numesc *fonte silicioase*, iar datorită conţinutului ridicat de impurităţi au proprietăţi slabe, utilizându-se sporadic la turnarea unor piese mari, puţin pretenţioase.

În tabelul 3.5 se prezintă mărcile standardizate în România (SR EN 10001:1993) şi compoziţiile chimice ale fontelor brute de turnătorie. Simbolizarea se face ca în cazul anterior, adăugându-se şi simbolul chimic al siliciului (*Pig – P1Si*). Simbolul *Nod* este prescurtarea cuvântului englez *nodular*, iar *LC* provine de la *low carbon* (cu carbon scăzut).

Tabelul 3.5. **Compoziţia chimică a fontelor brute de turnătorie**

Denumirea	Marca fontei	Compoziţia chimică [%]				
		C	Si	Mn	P	S
	Pig-P1Si	(3,3…4,5)	1,0…4,0 (1,5…3,5)	0,4…1,5	≤ 0,12	max.0,06
	Pig-P3Si				>0,12…0,5	
	Pig-P6Si				>0,5…1,0 (>0,5…0,7)	
	Pig-P12Si				>1,0…1,4	
	Pig-P17Si				>1,4…2,0	
Cu grafit nodular	Pig-Nod	(3,5…4,6)	≤ 3,0	≤ 0,1	≤ 0,08	max.0,03
Cu grafit nodular şi mangan ridicat	Pig-Nod Mn		≤ 4,0	>0,1…0,4		
Cu carbon scăzut	Pig-LC	>2,0…3,5	≤ 3,0	>0,4…1,5	≤ 0,30	max.0,06
	Pig-SPU					

3.3.2.3. Fonte brute aliate. Fontele brute aliate sunt fonte de primă fuziune care se utilizează la elaborarea oțelurilor, ca dezoxidant şi ca adaos de aliere.

În tabelul 3.6 se prezintă standardizarea fontelor brute aliate (SR EN 10001:1993), cu menționea că sub denumirea de *alte fonte aliate* sunt cuprinse fontele brute cu 4…8% Si, fontele brute cu 6…30% Mn şi fontele brute cu Cr > 0,3 … 10 %, Mo > 0,1 %, Ni > 0,3 %, Ti > 0,2 %, V > 0,1 % şi W > 0,1%.

Tabelul 3.6. **Compoziția chimică a fontelor brute aliate**

Denumirea	Marca fontei	Compoziția chimică [%]				
		C	Si	Mn	P	S
Fontă Spiegel	Pig-Mn	(4,0…6,5)	max. 1,5	>6,0…30,0	≤0,30 (≤0,20)	max.0,05
Alte fonte aliate	Pig-SPA	-	-	-	-	-

3.3.3 Fonte de turnătorie (secundare)

Fontele de turnătorie sau secundare sunt fonte de a doua fuziune, elaborate în cubilouri sau cuptoare electrice şi destinate turnării pieselor în construcția de maşini. După structură şi destinație pot fi: cenuşii, maleabile şi speciale.

3.3.3.1. Fonte cenuşii. Fontele cenuşii au carbonul, în cea mai mare parte sau în totalitate, sub formă de grafit, iar în ruptură prezintă aspect cenuşiu.

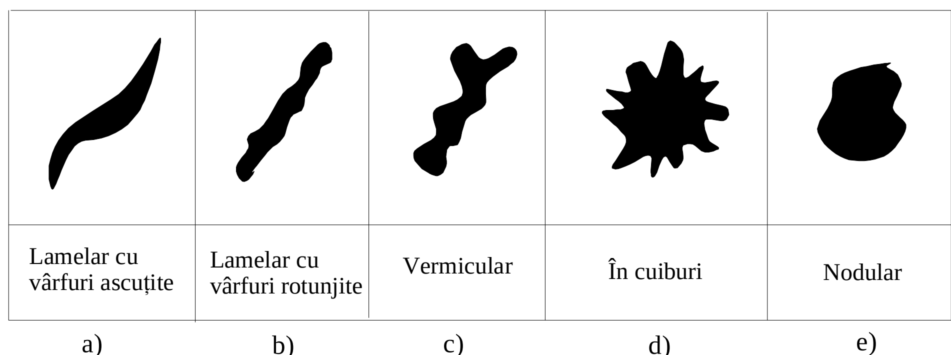


Fig. 3.5. Forme de grafit în fonte.

Proprietățile fizico-chimice ale acestor fonte sunt influențate de forma, distribuția, cantitatea şi dimensiunile grafitului (fig.3.5): cu grafit lamelar sau cu grafit nodular.

a) - Fonta cenuşie cu grafit lamelar are grafitul sub formă de lamele cu vârfurile ascuțite (fig.3.5.a), ceea ce conduce la concentrarea tensiunilor şi caracteristici mecanice relativ slabe ($R_m \leq 250$ N/mm^2, A = 0,5 %, HB = 120…187

daN/mm^2). Caracteristicile mecanice se îmbunătăţesc prin adăugare de calciu, bariu sau stronţiu, obţinându-se grafit lamelar cu vârfuri rotunjite (fig.3.5.b) sau prin adăugare de cesiu şi magneziu, obţinându-se grafit vermicular (R_m = 300…450 N/mm^2, A=0,8…5%) (fig.3.5.c).

Fontele cenuşii cu grafit lamelar se simbolizează atât în formă alfanumerică (cu ajutorul literelor şi al cifrelor), cât şi în formă numerică (SR EN 1561:1999). Numărul din simbolizarea alfanumerică reprezintă rezistenţa minimă de rupere la tracţiune, exprimată în N/mm^2 (EN-GJL-100). În tabelul 3.7 se prezintă caracteristicile fizice şi mecanice ale mărcilor standardizate ale acestor fonte.

Pentru determinarea durităţii Brinell *HB*, în funcţie de rezistenţa la tracţiune R_m, standardul SR EN 1561:1999 recomandă următoarea relaţie:

$$HB = RH \cdot (A + B \cdot R_m) \tag{2.1}$$

unde: *HB* - duritatea Brinell; *RH* - duritatea relativă (*RH* = 0,8…1,2); R_m - rezistenţa de rupere la tracţiune; *A* = 100; *B* = 0,44.

Tot din această categorie face parte şi *fonta turnată în piese pentru maşini-unelte* (STAS 8541-86), simbolizată prin literele *FcX*, urmate de valoarea rezistenţei minime la tracţiune, exprimată în N/mm^2 (*FcX 200*). În tabelul 3.8 se prezintă mărcile standardizate în România ale acestei fonte.

Aceste fonte se utilizează îndeosebi pentru turnarea batiurilor, meselor şi ghidajelor maşinilor-unelte, dar şi pentru corpuri de pompe, cilindri, discuri şi roţi mari.

Tabelul 3.8. **Fonte cenuşii pentru maşini-unelte**

Marca fontei	Caracteristici mecanice			
	R_m [N/mm^2]	R_i [N/mm^2]	f [mm]	HB [daN/mm^2]
FcX 200	200	390	8	170-220
FcX 250	250	440	8	180-240
FcX 300	300	490	9	190-240
FcX 350	350	540	10	200-260
R_i –rezistenţa de rupere la încovoiere; *f* – săgeată la încovoiere				

b) - Fonta cenuşie cu grafit nodular are grafitul compactizat la maximum, sub formă nodulară sau sferoidală (fig.3.5.e), efectul de crestătură fiind minim, ceea ce conduce la îmbunătăţirea proprietăţilor mecanice (R_m = 350…900 N/mm^2, A = 2…22 %, HB = 130…360 daN/mm^2). Pentru nodulizarea grafitului, în oala de turnare sau în cuptor se introduc Mg, Si, Ca, Ba şi aliaje ale acestora (modificatori).

Fonta cu grafit nodular se utilizează din ce în ce mai mult, datorită proprietăţilor favorabile şi costului relativ mic, fiind folosită la confecţionarea unor piese rezistente la uzură (arbori cotiţi, roţi dinţate, segmenţi, saboţi de frână, cilindri de laminor), rezistente la coroziune (corpuri de pompe şi compresoare,

Tabelul 3.7. **Caracteristici fizice şi mecanice ale fontelor cu grafit lamelar**

<table>
<tr><th colspan="2">Simbolizarea fontei</th><th colspan="10">Caracteristici fizice</th><th colspan="10">Caracteristici mecanice</th><th rowspan="3">Structura de bază</th></tr>
<tr><th rowspan="2">Alfanume-rică</th><th rowspan="2">Numerică</th><th rowspan="2">ρ [g//cm^3]</th><th colspan="2">c [J/kg·K]</th><th colspan="2">α [μM/m·K]</th><th colspan="2">λ [W/m·K]</th><th rowspan="2">ρ [Ω·m]</th><th rowspan="2">H_0 [A/m]</th><th rowspan="2">μ [μH/m]</th><th rowspan="2">R_m [N/mm^2]</th><th rowspan="2">R_{p01} [N/mm^2]</th><th rowspan="2">A [%]</th><th rowspan="2">$σ_{db}$ [N/mm^2]</th><th rowspan="2">$σ_{bB}$ [N/mm^2]</th><th rowspan="2">$σ_{aB}$ [N/mm^2]</th><th rowspan="2">$η_B$ [N/mm^2]</th><th rowspan="2">E [N/mm^2]</th><th rowspan="2">ν</th><th rowspan="2">$σ_{bW}$ [N/mm^2]</th></tr>
<tr><th>20ºC-200ºC</th><th>20ºC-600ºC</th><th>20ºC-200ºC</th><th>20ºC-400ºC</th><th>100ºC</th><th>200ºC</th></tr>
<tr><td>EN-GJL-**100**</td><td>EN-JL1010</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>100-200</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td rowspan="2">feritică/ perlitică</td></tr>
<tr><td>EN-GJL-**150**</td><td>EN-JL1020</td><td>7,10</td><td rowspan="5">460</td><td rowspan="5">535</td><td rowspan="5">11,7</td><td rowspan="5">13,0</td><td>52,5</td><td>51,0</td><td>0,80</td><td rowspan="5">560 … 720</td><td rowspan="5">220 … 330</td><td>150-200</td><td>98 – 165</td><td rowspan="5">0,8 … 0,3</td><td>600</td><td>250</td><td>170</td><td>170</td><td>78 – 103</td><td rowspan="5">0,26</td><td>70</td></tr>
<tr><td>EN-GJL-**200**</td><td>EN-JL1030</td><td>7,15</td><td>50,0</td><td>49,0</td><td>0,77</td><td>200-300</td><td>130-195</td><td>720</td><td>290</td><td>230</td><td>230</td><td>88 – 118</td><td>90</td><td rowspan="4">perlitică</td></tr>
<tr><td>EN-GJL-**250**</td><td>EN-JL1040</td><td>7,20</td><td>48,5</td><td>47,5</td><td>0,73</td><td>250-350</td><td>165-228</td><td>840</td><td>340</td><td>290</td><td>290</td><td>103-118</td><td>120</td></tr>
<tr><td>EN-GJL-**300**</td><td>EN-JL1050</td><td>7,25</td><td>47,5</td><td>46,7</td><td>0,70</td><td>300-400</td><td>195-260</td><td>960</td><td>390</td><td>345</td><td>345</td><td>108-137</td><td>140</td></tr>
<tr><td>EN-GJL-**350**</td><td>EN-JL1060</td><td>7,30</td><td>45,5</td><td>44,5</td><td>0,67</td><td>350-450</td><td>228-285</td><td>1080</td><td>490</td><td>400</td><td>400</td><td>123-143</td><td>145</td></tr>
<tr><td colspan="23">ρ – masa volumică; c – capacitatea termică masică; α – coeficient de dilatare liniară; λ – conductibilitatea termică; ρ – rezistivitatea electrică; H_0 – câmpul magnetic coercitiv; μ – permeabilitatea magnetică maximă; R_m – rezistența de rupere la tracțiune; $R_{p0,1}$ – limita de curgere convențională; A – alungirea; σ_{db} – rezistența la compresiune; σ_{bB} – rezistența la încovoiere; σ_{aB} – rezistența la forfecare; η_B – rezistența la răsucire; E – modulul de elasticitate; ν – coeficientul lui Poisson (coeficient de contracție transversală).</td></tr>
</table>

elice navale) şi refractare (lingotiere, matriţe, creuzete şi ţevi pentru cuptoare).

Simbolizarea se face prin literele *EN* (standard european), urmate de grupul de litere *GJS* care reprezintă iniţialele denumirii în limba engleză a acestei fonte şi de două grupe de numere care reprezintă rezistenţa minimă de rupere, în N/mm^2, şi alungirea minimă, în %. Uneori simbolurile sunt urmate de literele *LT* (temperatură scăzută) sau *RT* (temperatură ambiantă) şi se dau sub formă alfanumerică şi numerică.

În tabelul 3.9 se prezintă mărcile fontelor cenuşii cu grafit nodular standardizate în România (SR EN 1563:1999), precum şi caracteristicile mecanice ale acestora.

3.3.3.2. Fonte maleabile. Fontele maleabile sunt fonte cu grafit în formă de cuiburi (fig.3.5.d), obţinute din fontele albe printr-un tratament termic numit *re-coacere de maleabilizare*, prin care cementita (Fe_3C) se descompune în fier şi grafit.

După structură şi aspectul rupturii pot fi:

Tabelul 3.9. **Fonte cenuşii cu grafit nodular**

Simbolizarea		R_m [N/mm^2] (min.)	$R_{p0,2}$ [N/mm^2] (min.)	A [%] (min)	HB [daN/ /mm^2]	E [GN/ /m^2]	λ [W/ /K·m]	ρ [kg/ /dm^3]	Structura predomi-nantă
Alfanumerică	Numerică								
EN-GJS-350-22-LT	EN-JS1015	350	220	22	≤ 160	169	36,2	7,1	Ferită
EN-GJS-350-22-RT	EN-JS1014	350	220	22					
EN-GJS-350-22	EN-JS1010	350	220	22					
EN-GJS-400-18-LT	EN-JS1025	400	240	18		169	36,2	7,1	Ferită
EN-GJS-400-18-RT	EN-JS1024	400	250	18	130 - 180	169	36,2	7,1	Ferită
EN-GJS-400-18	EN-JS1020	400	250	18					
EN-GJS-450-15	EN-JS1030	400	250	15					
EN-GJS-450-10	EN-JS1040	450	310	10	160 – 210	169	36,2	7,1	Ferită
EN-GJS-500-7	EN-JS1050	500	320	7	170 – 230	169	35,2	7,1	Ferită + perlită
EN-GJS-600-3	EN-JS1060	600	370	3	190 – 270	174	32,5	7,2	Ferită + perlită
EN-GJS-700-2	EN-JS1070	700	420	2	225 – 305	176	31,1	7,2	Perlită
EN-GJS-800-2	EN-JS1080	800	480	2	245 – 335	176	31,1	7,2	Perlită sau martensită revenită
EN-GJS-900-2	EN-JS1090	900	600	2	270 - 360	176	31,1	7,2	Martensită revenită
E – modulul de elasticitate; *λ* – conductibilitatea termică la 300 ºC; *ρ* – masa volumică.									

a) – Fonte maleabile cu inimă albă sau ***fonte europene*** care în ruptură au culoare gri-argintie la interior şi mai închisă spre exterior. Ele se obțin din fontele albe printr-o recoacere de maleabilizare care constă în încălzirea materialului la 950…1000 ºC, timp de 75 ore, într-un mediu oxidant de minereu de fier care favorizează decarburarea stratului superficial, urmată de o răcire lentă.

Fonta maleabilă cu inimă albă se simbolizează fie în formă alfanumerică, fie în formă numerică (SR EN 1562:1999), simbolul alfanumeric fiind format dintr-un grup de patru litere (*GJMW*) care reprezintă inițialele denumirii în limba engleză a acestei fonte, urmat de un număr care reprezintă rezistența minimă la tracțiune, în N/mm^2 şi de o cifră care reprezintă alungirea minimă la rupere, în % (*EN-GJMW-350-4*). În tabelul 3.10 se prezintă caracteristicile mecanice ale mărcilor standardizate de fonte maleabile cu inimă albă, pentru diametrul nominal al epruvetei de 12 mm.

b) – Fonte maleabile cu inimă neagră sau ***fonte americane*** care au o culoare mai închisă la interior (cenuşie-neagră) şi mai deschisă spre exterior. Se obțin din fontele albe printr-o recoacere de grafitizare care constă în încălzirea materialului la 950 ºC, timp de 50…60 ore, într-un mediu neutru (nisip cuarțos spălat), urmată de o răcire lentă. Ca urmare, sunt fonte nedecarburate, grafitul prezentându-se sub formă de carbon de recoacere.

Tabelul 3.10. **Caracteristici mecanice ale fontelor maleabile cu inimă albă**

Simbolizarea fontei		Caracteristici mecanice			
Alfanumerică	Numerică	R_m [N/mm^2]	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	A [%]	HB [daN/mm^2]
EN-GJMW-**350-4**	EN-JM1010	350	-	4	max. 230
EN-GJMW-**360-12**	EN-JM1020	360	190	12	max. 200
EN-GJMW-**400-5**	EN-JM1030	400	220	5	max. 220
EN-GJMW-**450-7**	EN-JM1040	450	260	7	max. 220
EN-GJMW-**550-4**	EN-JM1050	550	340	4	max. 250

Simbolizarea fontelor maleabile cu inimă neagră se face similar cu cea a fontelor cu inimă albă (SR EN 1562:1999), în tabelul 3.11 prezentându-se caracteristicile mecanice ale acestora.

Proprietățile mecanice ale fontelor maleabile se situează între cele ale fontelor cenuşii cu grafit lamelar şi cele ale oțelurilor turnate (R_m = 300…800 N/mm^2, A = 1…12 %, HB = 150…320 daN/mm^2) şi se utilizează la turnarea pieselor mici, cu pereți subțiri şi cu forme complicate, cum ar fi: roți dințate şi de lanț, arbori cotiți, cămăşi de cilindri, pistoane şi segmenți pentru motoare Diesel, bucşe, piese pentru maşini agricole, textile şi poligrafice, punți şi cartere pentru autovehicule.

Tabelul 3.11. **Caracteristici mecanice ale fontelor maleabile cu inimă neagră**

Simbolizarea fontei		Caracteristici mecanice			
Alfanumerică	Numerică	R_m [N/mm^2]	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	A [%]	HB [daN/mm^2]
EN-GJMB-**300-6**	EN-JM1110	300	-	6	max. 150
EN-GJMB-**350-10**	EN-JM1130	350	200	10	max. 150
EN-GJMB-**450-6**	EN-JM1140	450	270	6	150 … 200
EN-GJMB-**500-5**	EN-JM1150	500	300	5	165 … 215
EN-GJMB-**550-4**	EN-JM1160	550	340	4	180 … 230
EN-GJMB-**600-3**	EN-JM1170	600	390	3	195 … 245
EN-GJMB-**650-2**	EN-JM1180	650	430	2	210 … 260
EN-GJMB-**700-2**	EN-JM1190	700	530	2	240 … 290
EN-GJMB-**800-1**	EN-JM1200	800	600	1	270 … 320

3.3.3.3. Fonte speciale. Fontele speciale sau aliate provin din fontele cenuşii, albe sau maleabile şi prin aliere şi aplicarea unor tratamente termice corespunzătoare dobândesc proprietăţi mecanice şi fizico-chimice speciale. Ca elemente de aliere se utilizează Ni, Cr, Mo, Mn, W, Ti, Zr, V etc.

Din categoria fontelor aliate fac parte fontele antifricţiune, de fricţiune, refractare şi austenitice.

a) - Fonta antifricţiune sau ***fonta rezistentă la uzare în condiţii de frecare cu ungere*** este o fontă cu grafit lamelar, nodular sau maleabilă, aliată cu Mn (7,5 …12,5%), Cr, Ni, Ti, Cu, Al şi Mg şi având un coeficient de frecare scăzut. Se utilizează la confecţionarea lagărelor, unde înlocuieşte aliajele neferoase.

Se notează cu simbolul corespunzător grupei de fontă, urmat de litera *A* (antifricţiune) şi un număr de ordine (*FcA1*, *FgnA2*, *FmA1*). În tabelul 3.12 sunt prezentate compoziţiile chimice şi durităţile fontelor antifricţiune standardizate (STAS 6707-79, cu modificarea *2/90*).

Tabelul 3.12. **Fonte antifricţiune**

Marca fontei	Conţinutul de elemente de aliere [%]							HB [daN/mm^2]
	Mn	Cr	Ni	Ti	Cu	Al	Mg	
FcA1	-	0,2-0,4	-	-	1,5-2,0	-	-	180-260
FcA2	-	0,2-0,4	0,2-0,4	0,03-0,1	0,3-0,5	-	-	180-229
FcA3	-	max.0,3	max.0,3	0,03-0,1	0,3-0,5	-	-	160-190
FcA4	7,5-12,5	-	-	-	-	0,4-0,8	-	140-180
FgnA1	-	-	-	-	max.0,7	-	min.0,03	210-260
FgnA2*	-	-	-	-	-	-	min.0,03	167-197
FmA1	-	-	-	-	1,0-1,5	-	-	187-262
FmA2*	-	0,06	-	-	-	-	-	167-197
* Fonte nealiate.								

b) - Fonta rezistentă la uzare abrazivă sau ***fonta de fricțiune*** este o fontă albă sau înalt aliată cu crom (1,5…28%), Ni, Mo, Cu, Mn şi Si, cu coeficient de frecare mare (0,2…0,6) şi rezistență la uzură ridicată. Se utilizează la fabricarea saboților şi discurilor de frânare, precum şi a unor piese utilizate în industria minieră şi în instalațiile de formare şi sablare din turnătorii.

Simbolizarea fontelor rezistente la uzare abrazivă se face alfanumeric şi numeric. Simbolizarea alfanumerică se face prin literele *EN* (standard european), urmate de literele *GJN* (denumirea fontei în limba engleză), *HV* (duritatea Vickers) şi de un număr care indică valoarea durității Vickers. În tabelul 3.13 se prezintă duritatea Vickers şi compoziția chimică a fontelor rezistente la uzare abrazivă standardizate în România (SR EN 12513:2001).

c) - Fonta refractară este o fontă aliată cu Cr, Si şi Al, rezistentă la oxidare şi cu tendință mică de a-şi mări volumul la temperaturi înalte (până la 1100 ºC). Se utilizează la confecționarea unor piese care lucrează în aer şi gaze, la temperaturi ridicate: plăci de focare, armături pentru cuptoare, țevi recuperatoare de căldură, țevi de eşapament, supape, retorte refractare.

Se simbolizează cu literele *Fr* (fontă refractară) sau *Frgn* (fontă refractară cu grafit nodular), urmate de simbolul chimic şi conținutul mediu al elementului principal de aliere, în % (*FrCr2,5*, *FrgnSi5*). Conținutul de carbon ajunge până la 3,8 %, R_m = 90…300 N/mm^2, iar *HB* = 245…550 daN/mm^2.

Tabelul 3.13. **Fonte rezistente la uzare abrazivă**

Simbolizare		Duritatea Vickers HV(min.)	Compoziția chimică [%]								
Alfanumerică	Numerică		C	Si	Mn	P (max)	S (max)	Cr	Ni	Mo (max)	Cu (max)
a)- Fontă nealiată sau slab aliată											
EN-GJN-HV350	EN-JN2019	350	2,4–3,9	0,4-1,5	0,2-1,0	-	-	max 2,0	-	-	-
b)- Fonte cu nichel – crom											
EN-GJN-HV520	EN-JN2029	520	2,5-3,0	max 0,8	max 0,8	0,10	0,10	1,5-3,0	3,0-5,5	-	-
EN-GJN-HV550	EN-JN2039	550	3,0-3,6	max 0,8	max 0,8	0,10	0,10	1,5-3,0	3,0-5,5	-	-
EN-GJN-HV600	EN-JN2049	600	2,5-3,5	1,5-2,5	0,3-0,8	0,08	0,08	8,0-10,0	4,5-6,5	-	-
c)- Fonte cu conținut ridicat de crom											
EN-GJN-HV600 (XCr11)	EN-JN3019	600	1,8-3,6	max 1,0	0,5-1,5	0,08	0,08	11,0-14,0	max 2,0	3,0	1,2
EN-GJN-HV600 (XCr14)	EN-JN3029	600	1,8-3,6	max 1,0	0,5-1,5	0,08	0,08	14,0-18,0	max 2,0	3,0	1,2
EN-GJN-HV600 (XCr18)	EN-JN3039	600	1,8-3,6	max 1,0	0,5-1,5	0,08	0,08	18,0-23,0	max 2,0	3,0	1,2
EN-GJN-HV600 (XCr23)	EN-JN3049	600	1,8-3,6	max 1,0	0,5-1,5	0,08	0,08	23,0-28,0	max 2,0	3,0	1,2

În tabelul 3.14 se prezintă compoziţiile chimice şi caracteristicile mecanice ale fontelor refractare standardizate la noi (STAS 6706-79).

d) - Fonta austenitică sau ***fonta rezistentă la temperaturi joase*** este o fontă înalt aliată cu Ni (12…36%), Cr şi Mn, cu proprietăţi speciale: rezistenţă bună la coroziune, rezistenţă bună la uzură în condiţii de frecare cu ungere (antifricţiune), rezistenţă la şoc termic, păstrându-şi proprietăţile până aproape la minus 200 ºC. Unele sunt magnetice, altele nemagnetice. Se folosesc la confecţionarea unor piese utilizate în industria chimică (pompe, compresoare, robinete, filtre), pentru maşini electrice (flanşe, borne, bucşe de izolatoare, carcase de întrerupătoare), piese cu stabilitate dimensională (instrumente de măsură şi control, piese pentru maşini-unelte de precizie, matriţe pentru industria sticlăriei) şi piese pentru instalaţii frigorifice utilizate până la -196 ºC.

Fonta austenitică se mai numeşte *criogenică*, datorită rezistenţei la temperaturi scăzute sau *anticorosivă*, datorită rezistenţei înalte la medii puternic corosive.

Tabelul 3.14. **Fonte refractare**

Grupa	Marca fontei	Compoziţia chimică [%]							Caracteristici mecanice		
		C	Si	Mn (max.)	P (max.)	S (max.)	Cr	Al	R_m [N/mm^2]	$R_î$ [N/mm^2]	HB [daN/mm^2]
Fonte aliate cu crom	FrCr 0,4	3,1-3,7	1,6-2,4	0,9	0,25	0,12	0,25-0,6	-	180	-	245
	FrCr 0,7	3,0-3,8	1,7-2,7	1,0	0,30	0,12	0,5- 1	-	180	360	286
	FrCr 1,5	3,0-3,8	2,0-3,0	1,0	0,30	0,12	1,01-2,0	-	150	320	286
	FrCr 2,5	3,0-3,8	2,8-3,8	1,0	0,30	0,12	2,01-2,7	-	150	320	364
	FrCr 16	1,6-2,4	1,5-2,2	1,0	0,1	0,05	15-18	-	350	-	450
	FrCr 30	1,6-3,0	1,5-2,0	0,7	0,1	0,05	28-32	-	300	500	550
Fonte aliate cu siliciu	FrSi 5	2,5-3,2	4,5-6,0	0,8	0,3	0,12	0,7-1,0	-	150	300	300
	FrgnSi 6	2,7-3,3	4,5-5,5	0,8	0,1	0,03	0,2 (max)	-	300	-	300
Fonte aliate cu aluminiu	FrAl 22	1,6-2,5	1,0-2,0	0,8	0,2	0,08	-	19-25	90	220	286
	FrgnAl 22	1,6-2,5	1,0-2,0	0,8	0,2	0,03	-	19-25	250	350	364
	FrAl 30	1,0-2,0	0,5 (max)	0,7	0,04	0,01	-	29-31	200	350	-
$R_î$ – rezistenţa de rupere la încovoiere.											

Simbolizarea se face prin literele *L* (fontă cu grafit lamelar) sau *S* (fontă cu grafit nodular sau sferoidal), urmate de simbolurile chimice ale principalelor elemente de aliere şi de numere despărţite prin spaţii egale care arată conţinuturile medii aproximative ale acestora (*L-NiCr 20 2, S-NiSiCr 30 5 5*). Fontele austenitice cu grafit nodular au conţinutul de fosfor de maximum 0,080 %. În tabelul 3.15 sunt prezentate compoziţiile chimice, precum şi caracteristicile fizice şi mecanice ale acestor fonte (SR ISO 2892:1994).

3.4. Oţeluri

3.4.1. Generalităţi

Oţelul este un aliaj fier-carbon care conţine 0,006…2,11 % C, precum şi elemente însoţitoare (Mn ≤ 0,9%, Si ≤ 0,45%, P ≤ 0,04%, S ≤ 0,04%) şi uneori elemente de aliere. Elaborarea oţelului este un proces fizico-chimic complex care utilizează ca materie primă fie minereul de fier, fie fonta topită. Oţelul se obţine din minereul de fier prin reducere directă, iar din fontă, prin reducere indirectă.

Reducerea directă a minereului de fier este cunoscută încă din antichitate. Majoritatea obiectelor din fier, inclusiv armele de luptă, realizate până în Evul Mediu, erau obţinute din *buretele de fier*, produs în cuptoare rudimentare verticale (cuptoare cu vatră catalană sau corsicană). Pe vatra acestor cuptoare se puneau cărbuni aprinşi şi apoi mangal. Deasupra, în straturi succesive, se aşezau minereul de fier şi mangalul, suflându-se aer rece cu ajutorul unor foale manuale. Temperatura realizată prin arderea combustibilului crea condiţii pentru reducerea minereului cu carbonul din mangal, rezultând schelete de fier în stare păstoasă. Scheletele se sudau între ele, în amestec cu zgura, formând *buretele de fier* sau *lupa*. Prin forjarea lupei, zgura era îndepărtată, obţinându-se o bucată de oţel de calitate foarte bună, datorită conţinutului extrem de scăzut de fosfor şi sulf (care în cazul oţelurilor moderne provin din cărbunii cocsificabili).

Procedeul nu se mai aplică din cauza consumului specific de energie ridicat, dar se fac cercetări pentru perfecţionarea lui. Astfel, procedeele moderne de reducere directă se pot realiza la temperaturi joase, de 500…1100 ºC, având ca rezultat buretele de fier (procedeele Armco, Elkem, Esso-Fior, Krupp, Purofer, Wiberg) sau la temperaturi înalte, de peste 1400 ºC, produsul rezultat prezentându-se în stare lichidă (procedeele Basset şi Stürzelberg). Principalul avantaj oferit de aceste procedee constă în faptul că pentru reducere nu se foloseşte cocs metalurgic, combustibil deficitar şi scump, putându-se utiliza combustibili mai ieftini: lignit, semicocs, hidrocarburi gazoase naturale sau combustibili lichizi.

Reducerea indirectă se realizează în stare topită şi constă în principal în eliminarea unei părţi din carbon şi elementele însoţitoare din fontă până la limitele prescrise pentru oţel. Astăzi, peste 95% din producţia mondială de oţel se obţine prin reducere indirectă, realizându-se în convertizoare, cuptoare cu vatră şi cuptoare electrice.

Tabelul 3.15. **Fonte austenitice**

Felul fontei	Marca fontei	Compoziția chimică [%]						Caracteristici fizice						Caracteristici mecanice				
		C max.	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	ρ_1 [kg/dm³]	α [mm·°C10⁻⁶] (20-200°C)	λ [W/m·°C]	c [J/g·°C]	ρ_2 [Ω·mm²/m]	μ [H/m]	R_m [N/mm²]	R_c [N/mm²]	A [%]	E [GN/m²]	HB [daN/mm²]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Cu grafit lamelar	L-NiMn 13 7	3,0	1,5-3,0	6,0-7,0	12,0-14,0	max. 0,2	max. 0,5	7,3	17,7	37,7-41,9	0,46-0,50	1,4	1,02	140-220	630-840	-	70-90	120-150
	L-NiCuCr 15 6 2	3,0	1,0-2,8	0,5-1,5	13,5-17,5	1,0-2,5	5,5-7,5	7,3	18,7	37,7-41,9	0,46-0,50	1,6	1,03	170-210	700-840	2	85-105	140-200
	L-NiCuCr 15 6 3	3,0	1,0-2,8	0,5-1,5	13,5-17,5	2,5-3,5	5,5-7,5	7,3	18,7	37,7-41,9	0,46-0,50	1,1	1,05	190-240	860-1100	1-2	98-113	150-250
	L-NiCr 20 2	3,0	1,0-2,8	0,5-1,5	18,0-22,0	1,0-2,5	max. 0,5	7,3	18,7	37,7-41,9	0,46-0,50	1,4	1,04	170-210	700-840	2 - 3	85-105	120-215
	L-NiCr 20 3	3,0	1,0-2,8	0,5-1,5	18,0-22,0	2,5-3,5	max. 0,5	7,3	18,7	37,7-41,9	0,46-0,50	1,2	1,04	190-240	860-1100	1 - 2	98 - 113	160 - 250
	L-NiSiCr 20 5 3	2,5	4,5 – 5,5	0,5 – 1,5	18,0–22,0	1,5-4,5	max. 0,5	7,3	18,0	37,7-41,9	0,46-0,50	1,6	1,1	190-280	860-1100	2 - 3	110	140 - 250
	L-NiCr 30 3	2,5	1,0 – 2,0	0,5 – 1,5	28,0-32,0	2,5-3,5	max. 0,5	7,3	12,4	37,7-41,9	0,46-0,50	-	-	190-240	700-910	1 - 3	98-113	120-215
	L-NiSiCr 30 5 5	2,5	5,0 – 6,0	0,5 – 1,5	29,0-32,0	4,5 – 5,5	max. 0,5	7,3	14,6	37,7-41,9	0,46-0,50	1,6	> 2	170-240	560	-	105	150-210
	L-Ni 35	2,4	1,0 – 2,0	0,5 – 1,5	34,0-36,0	max. 0,2	max. 0,5	7,3	5,0	37,7-41,9	0,46-0,50	-	-	120-180	560-700	1 - 3	74	120-140

Tabelul 3.15 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	$R_{p0,2}$	16	17	18
Cu grafit nodular	S-NiMn 13 7	3,0	2,0 – 3,0	6,0 – 7,0	12,0–14,0	max. 0,2	max. 0,5	7,3	18,2	12,6	-	1,0	1,02	390-460	210-260	15 - 25	140 - 150	130 - 170
	S-NiCr 20 2	3,0	1,5 – 3,0	0,5 – 1,5	18,0–22,0	1,0 – 2,5	max. 0,5	7,4	18,7	12,6	-	1,0	1,04	370-470	210-250	7 - 20	112 - 130	140 - 200
	S-NiCr 20 3	3,0	1,5 – 3,0	0,5 – 1,5	18,0–22,0	2,5 – 3,5	max. 0,5	7,4	18,7	12,6	-	1,0	1,05	390 - 490	210 - 260	7 - 15	112 - 133	150 - 255
	S-NiSiCr 20 5 2	3,0	4,5 – 5,5	0,5 – 1,5	18,0–22,0	1,0 – 2,5	max. 0,5	7,4	18,0	12,6	-	-	-	370-430	210-260	10 - 18	112 - 133	180 - 230
	S-Ni 22	3,0	1,0 – 2,0	1,5 – 2,5	21,0-24,0	max. 0,5	max. 0,5	7,4	18,4	12,6	-	1,0	1,02	370-440	170-250	20 - 40	85 - 112	130 - 170
	S-NiMn 23 4	2,6	1,5 – 2,5	4,0 – 4,5	22,0–24,0	max. 0,2	max. 0,5	7,4	14,7	12,6	-	-	-	440-470	210-240	25 - 45	120 - 140	150 - 180
	S-NiCr 30 1	2,6	1,5 – 3,0	0,5 – 1,5	28,0-32,0	1,0 – 1,5	max. 0,5	7,4	12,6	12,6	-	-	-	370-440	210-270	13 - 18	112-130	130 - 190
	S-NiCr 30 3	2,6	1,5 – 3,0	0,5 – 1,5	28,0-32,0	2,5 – 3,5	max. 0,5	7,4	12,6	12,6	-	-	-	370-470	210-260	7 - 18	92 - 105	140 - 200
	S-NiSiCr 30 5 5	2,6	5,0 – 6,0	0,5 – 1,5	28,0-32,0	4,5 – 5,5	max. 0,5	7,4	14,4	12,6	-	-	-	390-490	240-310	1 - 4	91	170 - 250
	S-Ni 35	2,4	1,5 – 3,0	0,5 – 1,5	34,0-36,0	max. 0,2	max. 0,5	7,6	5	12,6	-	-	-	370-410	210-240	20 - 40	112 - 140	130 - 180
	S-NiCr 35 3	2,4	1,5 – 3,0	0,5 – 1,5	34,0-36,0	2,0 – 3,0	max. 0,5	7,6	5	12,6	-	-	-	370-440	210-290	7 - 10	112 - 113	140 - 190

ρ_1 – masa volumică; α – coeficient de dilatare liniară; λ – conductibilitatea termică; c – capacitatea termică masică; ρ_2 – rezistivitatea electrică; μ – permeabilitatea magnetică; R_m – rezistența la tracțiune; R_c – rezistența la compresiune; $R_{p0,2}$ – limita de curgere convențională [N/mm^2]; A – alungirea la rupere; E – modulul de elasticitate; HB – duritatea Brinell.

Dintre procedeele de elaborare, se remarcă o creştere a elaborării oțelului în convertizoare (60%) şi în cuptoare electrice (20%), în detrimentul cuptoarelor cu vatră (20%), producția mondială de oțel fiind de circa 1,2 miliarde de tone/an, iar în țara noastră de 5 milioane de tone/an.

Clasificarea oțelurilor se face după schema şi criteriile prezentate în fig. 3.6, în continuare fiind prezentată clasificarea după destinație.

3.4.2. Oțeluri de uz general

3.4.2.1. Oțeluri-carbon obişnuite. Oțelurile-carbon obişnuite sunt oțeluri nealiate (cu excepția mărcilor *OL 44* şi *OL 52* care sunt slab aliate) ce conțin până la 0,6 % C, folosite la obținerea semifabricatelor laminate (bare, table, benzi, sârme şi țevi) şi forjate (bare). Se prelucrează foarte uşor prin deformare plastică şi prin aşchiere, se sudează bine (îndeosebi prin presiune) şi se utilizează de obicei netratate termic, la confecționarea unor piese mai puțin solicitate sau în construcții metalice (organe de maşini, lanțuri comerciale, carcase, ambalaje metalice, recipiente, cârlige pentru macarale, parapete şi balustrade, suporturi, rame, şuruburi de fundații, oțel-beton).

Simbolizarea oțelurilor-carbon obişnuite se face prin literele *OL*, urmate de două cifre care reprezintă valoarea rezistenței minime de rupere la tracțiune, în daN/mm^2 (*OL 50*) sau prin literele *RC* (rezistent la coroziunea atmosferică), urmate de literele *A* şi *B* (clasa) şi de un număr care indică rezistența minimă de rupere la tracțiune (*RCA 37*). În tabelul 3.16 se prezintă compozițiile chimice şi proprietățile mecanice ale acestor oțeluri (STAS 500/2-80 şi STAS 500/3-80).

3.4.2.2. Oțeluri-carbon de calitate şi **oțeluri carbon superioare.** *Oțelurile-carbon de calitate* sunt oțeluri nealiate, cu compoziții chimice şi proprietăți mecanice garantate (STAS 880-88), utilizate în stare tratată termic sau termochimic, în construcția de maşini. Cele care conțin sub 0,25 % C se mai numesc *oțeluri de cementare*, fiind supuse carburării şi ulterior călirii şi revenirii joase, iar cele cu peste 0,25 % C, *oțeluri de îmbunătățire*, fiind supuse unei căliri şi unei reveniri înalte. În ambele cazuri, rezultă o structură martensitică dură la suprafață şi un miez tenace.

Semifabricatele din oțeluri-carbon de calitate se obțin numai prin deformare plastică (laminare, tragere, forjare), iar piesele confecționate din aceste oțeluri rezistă la solicitări medii (roți dințate, arbori, bolțuri de pistoane, biele, şuruburi, flanşe, came, pene de ghidare).

Simbolizarea oțelurilor-carbon de calitate se face prin literele *OLC*, urmate de un număr care reprezintă conținutul mediu de carbon, în sutimi de procente (*OLC 45, OLC 60*).

Oțelurile-carbon superioare au conținuturile de incluziuni nemetalice şi defectele de suprafață limitate, adâncime minimă de călire garantată, proprietăți mai bune şi conținuturile de sulf şi fosfor limitate la 0,035 % pentru fiecare. Simbolizarea se face ca în cazul oțelurilor-carbon de calitate, adăugându-se litera *X* (*OLC 20 X*).

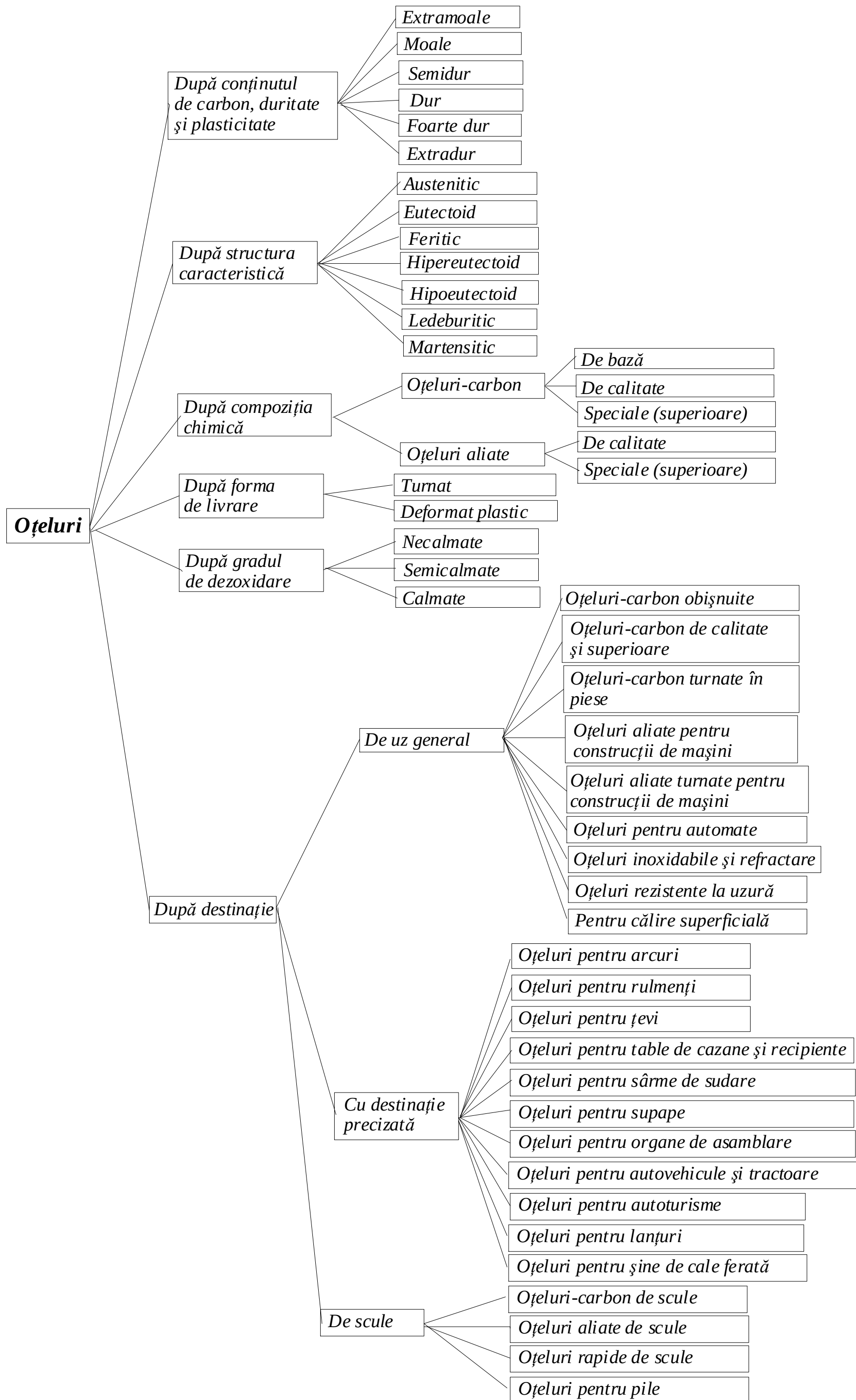


Fig. 3.6. Clasificarea oțelurilor.

Din punct de vedere calitativ, există şi oţeluri-carbon de calitate cu conţinut controlat de sulf (S = 0,02…0,045 %), notate cu simbolul *S* (*OLC 45 S*), precum şi oţeluri-carbon superioare cu conţinut controlat de sulf (S = 0,02…0,04%), notate cu simbolul *XS* (*OLC 45 XS*).

Tabelul 3.16. **Oţeluri-carbon obişnuite**

Marca oţelului	Compoziţia chimică [%]							Caracteristici mecanice				Gradul de dezoxidare
	C	Mn	Si	Al	Cu	Cr	N_2	R_m [N/mm^2]	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	A [%]	KCU [J/cm^2]	
a) - Oţeluri de uz general pentru construcţii (STAS 500/2-80)												
OL 32	0,15	0,6	0,07	-	-	-	-	310-390	160-180	33	-	S, K
OL 34	0,17	0,6	0,07	-	-	-	-	330-410	190-210	31	-	S, K
OL 37	0,17-0,25	0,85	0,07-0,40	0,02 (min)	-	-	-	360-440	210-240	25-26	69	S, K
OL 42	0,25-0,31	0,85	0,04-0,07	0,02 (min)	-	-	-	410-490	250-260	22-23	69	K, Kf
OL 44	0,2-0,22	1,15	0,4	0,02 (min)	-	-	-	430-540	250-280	23-25	59	K, Kf
OL 52	0,2-0,22	1,65	0,4	0,02 (min)	-	-	-	510-630	330-350	21-22	59	K, Kf
OL 50	0,3	0,85	0,4	-	-	-	-	490-610	270-290	21	-	K
OL 60	0,4	0,85	0,4	-	-	-	-	590-710	320-330	16	-	K
OL 70	0,5	0,85	0,4	-	-	-	-	690	340-360	11	-	K
OL 30	-	-	-	-	-	-	-	310	-	20	-	-
b) - Oţeluri de uz general pentru construcţii rezistente la coroziune atmosferică (STAS 500/3-80)												
RCA 37	0,12	0,45	0,12-0,35	0,02 (min)	0,3 - 0,6	0,5 – 0,8	0,019	360-440	240	25 – 26	69	S, K
RCB 52	0,18	1,2	0,6	0,02 (min)	0,3 – 0,6	0,5 – 0,8	0,019	510-610	350	21 - 22	69	S, K
S – oţeluri semicalmate; *K* – oţeluri calmate (dezoxidare obligatorie cu siliciu); *Kf* – oţeluri calmate suplimentar (dezoxidare obligatorie cu siliciu şi suplimentară cu aluminiu).												

În tabelul 3.17 se prezintă compoziţiile chimice şi proprietăţile mecanice ale acestor oţeluri (STAS 880-88).

Tabelul 3.17. **Oţeluri-carbon de calitate şi superioare**

Marca oţelului	Compoziţia chimică [%]				Caracteristici mecanice						Felul trata-mentului termic
	C	Mn	S	P	R_m [N/mm^2]	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	A [%]	Z [%]	HB [daN/mm^2]		
									N	R	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OLC 8	0,05-0,12	0,35-0,65	0,02-0,045	max 0,04	324	196	33	60	179	131	N
OLC 10	0,07-0,14	0,35-0,65	0,02-0,045	max 0,04	321	206	31	55	187	143	N
OLC 15	0,12-0,18	0,35-0,65	0,02-0,045	max 0,04	373	225	27	55	197	149	N
OLC 20	0,17-0,24	0,3-0,6	max 0,045	max 0,04	410	250	25	40	-	156	N
OLC 20 X	0,17-0,24	0,3 – 0,6	max 0,035	max 0,035	550 - 700	350	20	50			C,$R_î$
OLC 20 XS	0,17-0,24	0,3 – 0,6	0,02–0,04	max 0,035				50			
OLC 25	0,22-0,29	0,4-0,7	max 0,045	max 0,04	450	270	24	40	180	165	N
OLC 25 X	0,22-0,29	0,4-0,7	max 0,035	max 0,035	550 - 700	370	19	45			C,$R_î$
OLC 25 XS	0,22-0,29	0,4-0,7	0,02–0,04	max 0,035				45			
OLC 30	0,27-0,34	0,5-0,8	max 0,045	max 0,04	490	290	21	35	-	170	N
OLC 30 X	0,27-0,34	0,5-0,8	max 0,035	max 0,035	600 - 750	400	18	40			C,$R_î$
OLC 30 XS	0,27-0,34	0,5-0,8	0,02–0,04	max 0,035				40			
OLC 35	0,32-0,39	0,5-0,8	max 0,045	max 0,04	530	310	21	35	200	183	N
OLC 35 X	0,32-0,39	0,5-0,8	max 0,035	max 0,035	630 - 780	430	17	40			C,$R_î$
OLC 35 XS	0,32-0,39	0,5-0,8	0,02–0,04	max 0,035				40			
OLC 40	0,37-0,44	0,5-0,8	max 0,045	max 0,04	570	320	19	30	-	197	N
OLC 40 X	0,37-0,44	0,5-0,8	max 0,035	max 0,035	650 - 800	460	16	35			C,$R_î$
OLC 40 XS	0,37-0,44	0,5-0,8	0,02–0,04	max 0,035				35			
OLC 45	0,42-0,50	0,5-0,8	max 0,045	max 0,04	610	360	18	30	235	207	N

Tabelul 3.17 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OLC 45 X	0,42-0,50	0,5-0,8	max 0,035	max 0,035	700 - 850	500	14	35	235	207	C,Rî
OLC 45 XS	0,42-0,50	0,5-0,8	0,02–0,04	max 0,035				35			
OLC 50	0,47-0,55	0,6-0,9	max 0,045	max 0,04	640	370	16	25	-	255	N
OLC 50 X	0,47-0,55	0,6-0,9	max 0,035	max 0,035	750 - 900	520	13	30			C,Rî
OLC 50 XS	0,47-0,55	0,6-0,9	0,02–0,04	max 0,035				30			
OLC 55	0,52-0,60	0,6 – 0,9	max 0,045	max 0,04	670	390	14	25	-	255	N
OLC 55 X	0,52-0,60	0,6 – 0,9	max 0,035	max 0,035	800 - 950	550	12	30			C,Rî
OLC 55 XS	0,52-0,60	0,6 – 0,9	0,02–0,04	max 0,035				30			
OLC 60	0,57-0,65	0,6 – 0,9	max 0,045	max 0,04	700	400	14	20	-	255	N
OLC 60 X	0,57-0,65	0,6 – 0,9	max 0,035	max 0,035	850 - 1000	580	11	25			C,Rî
OLC 60 XS	0,57-0,65	0,6 – 0,9	0,02–0,04	max 0,035				25			
C – călire; *Rî* – revenire înaltă; *N* – normalizare; *R* – recoacere.											

3.4.2.3. Oţeluri-carbon turnate în piese. Oţelurile-carbon turnate în piese sunt oţeluri nealiate, destinate turnării pieselor cu configuraţie complicată, cărora li se cer rezistenţă şi tenacitate şi din punct de vedere tehnologic şi economic este mai avantajos a se realiza prin turnare decât prin forjare sau sudare. Deoarece piesele rezultate prin turnare sunt fragile, ele se supun obligatoriu unui tratament de recoacere. În acelaşi timp, ele sunt sudabile. Astfel de piese (roţi pentru cabluri şi lanţuri, roţi dinţate, carcase de reductoare, corpuri de pompe, arbori cotiţi, flanşe, cruci cardanice) se utilizează la construcţia utilajelor metalurgice, chimice, miniere şi petroliere, a maşinilor de ridicat şi transportat, autovehiculelor, tractoarelor şi materialului rulant.

Oţelurile-carbon turnate în piese se notează cu două numere, separate prin cratimă, primul reprezentând limita minimă de curgere, în N/mm^2, iar al doilea, rezistenţa minimă la tracţiune, în N/mm^2. Mărcile cu capacitate uniformă de sudare se simbolizează la sfârşit cu litera *W* (*welding* = sudare) (*200-400 W*). În tabelul 3.18 se prezintă compoziţia chimică şi caracteristicile mecanice ale acestor oţeluri (SR ISO 3755:1994).

Tabelul 3.18. **Oțeluri-carbon turnate în piese**

Marca oțelului	Compoziția chimică [%]										Caracteristici mecanice				
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V	$R_{p0,2}$ [N/mm²]	R_m [N/mm²]	A [%]	Z [%]	KV [J]
200-400	-	-	-	0,035	0,035	-	-	-	-	-	200	400-550	25	40	30
200-400W	0,25	1,0	0,60	0,035	0,035	0,40	0,35	0,40	0,15	0,05	200	400 - 550	25	40	45
230-450	-	-	-	0,035	0,035	-	-	-	-	-	230	450 – 600	22	31	25
230-450W	0,25	1,20	0,60	0,035	0,035	0,40	0,35	0,40	0,15	0,05	230	450 - 600	22	31	45
270-480	-	-	-	0,035	0,035	-	-	-	-	-	270	480 – 630	18	25	22
270-480W	0,25	1,20	0,60	0,035	0,035	0,40	0,35	0,40	0,15	0,05	270	480 – 630	18	25	22
340-550	-	-	-	0,035	0,035	-	-	-	-	-	340	550 – 700	15	21	20
340-550W	0,25	1,50	0,60	0,035	0,035	0,40	0,35	0,40	0,15	0,05	340	550 - 700	15	21	20
KV – energia absorbită la rupere.															

3.4.2.4. Oțeluri aliate pentru construcții de maşini. Oțelurile aliate pentru construcții de maşini sunt oțeluri prelucrate prin deformare plastică, folosite în stare tratată termic sau termochimic, la temperatură ambiantă, în construcția de maşini, având adâncimea de călire garantată. Ele sunt în general oțeluri de îmbunătățire şi în urma acestui tratament termic (călire + revenire înaltă sau joasă) dobândesc proprietăți mecanice foarte bune, îndeosebi rezistență la rupere şi limită de curgere.

Din punct de vedere calitativ, oțelurile aliate pentru construcții de maşini pot fi (STAS 7450-89):

- *oțeluri de uz general*, notate printr-un simbol format din cifre şi litere. Cifrele dinaintea literelor indică aproximativ conținutul mediu de carbon, în sutimi de procente, iar literele care urmează reprezintă elementele de aliere înscrise în ordinea crescândă a conținutului în oțelul respectiv. Cifrele care urmează după ultimul element chimic indică aproximativ conținutul mediu al acestuia, în zecimi de procent (*17 MoCrNi 14*);
- *oțeluri de uz general cu conținut controlat de sulf* care au conținutul de sulf limitat la 0,020…0,040 % şi se simbolizează prin litera *S* (*17 MnCr 10 S*);
- *oțeluri superioare* care au conținutul de sulf limitat la 0,035 %, iar cel de fosfor, la 0,025 % şi se simbolizează cu litera *X* (*19 MoCr 11 X*);
- *oțeluri superioare cu conținut controlat de sulf* care au conținutul de sulf limitat la 0,020…0,035 %, iar cel de fosfor, la 0,025 %, fiind simbolizate cu literele *XS* (*30 MoCrNi 20 XS*).

În ceea ce priveşte elementele de aliere, *manganul* îmbunătăţeşte călibilitatea, dar scade aşchiabilitatea, *cromul* îmbunătăţeşte călibilitatea şi rezistenţa la coroziune, mărindu-i şi fragilitatea, *siliciul* creşte rezistenţa la rupere, limita de curgere şi tenacitatea, *nichelul* măreşte tenacitatea şi precizia dimensională, *molibdenul* îmbunătăţeşte călibilitatea, stabilitatea la cald şi rezistenţa la coroziune, iar *titanul* îmbunătăţeşte fluajul, dar scade călibilitatea.

În tabelul 3.19 se prezintă compoziţia chimică, proprietăţile mecanice şi principalele domenii de utilizare ale oţelurilor aliate pentru construcţii de maşini standardizate în România (STAS 791-88)

3.4.2.5. Oţeluri aliate turnate pentru construcţii de maşini. Oţelurile aliate turnate pentru construcţii de maşini sunt oţeluri elaborate în convertizoare sau în cuptoare Siemens-Martin sau electrice care conţin 0,14…0,40 % C. Sunt oţeluri slab aliate cu Mn, Ni, Cr, Mo, Si, Ti etc., elementul principal de aliere fiind sub 2%, iar suma tuturor elementelor de aliere nedepăşind 5%. Conţinutul maxim de siliciu este limitat la 0,60%, iar conţinuturile maxime de sulf şi fosfor, la 0,035%, pentru fiecare.

Aceste oţeluri sunt destinate turnării pieselor pentru construcţii mecanice generale şi pentru construcţii cu uşoare solicitări la uzură, precum şi elementelor pentru construcţii rezistente la solicitări mecanice mari. Deoarece piesele brute rezultate din turnare sunt fragile, se supun în mod obligatoriu unui tratament de recoacere.

Oţelurile aliate turnate pentru construcţii de maşini se simbolizează cu două numere, separate prin cratimă, primul reprezentând limita minimă de curgere, iar al doilea, rezistenţa minimă la tracţiune, ambele fiind exprimate în N/mm^2.

În tabelul 3.20 se prezintă mărcile standardizate (SR ISO 9477:1995) şi caracteristicile mecanice ale acestor oţeluri.

Tabelul 3.20. **Oţeluri aliate turnate pentru construcţii de maşini**

Marca oţelului	Caracteristici mecanice				
	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	R_m [N/mm^2]	A [%]	Z [%]	KV [J]
410-620	410	620 … 770	16	40	20
540-720	540	720 … 870	14	35	20
620-820	620	820 … 970	11	30	18
840-1030	840	1030 … 1180	7	22	15

3.4.2.6. Oţeluri pentru automate. Oţelurile pentru automate sunt oţeluri nealiate de cementare şi îmbunătăţire, cu capacitatea de aşchiere foarte bună, utilizate la fabricarea pieselor mici şi de serie mare, pe maşini-unelte automate (de unde au primit şi denumirea). În vederea aşchierii cu viteze mari, de 50…70 m/min şi chiar peste 100 m/min, au conţinuturi ridicate de sulf (până la 0,30 %) şi fosfor (până la 0,15 %). Ele sunt laminate la cald sau trase la rece, în bare cu secţiunea rotundă, pătrată sau hexagonală.

Tabelul 3.19. **Oțeluri aliate pentru construcții de mașini**

Marca oțelului	Compoziția chimică [%]								Caracteristici mecanice						Felul tratam. termic	Domenii de utilizare
	C	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Alte elem.	R_m [N/mm^2]	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	A [%]	Z [%]	KCU [J/cm^2]	HB [daN/mm^2]		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
15 Cr 9	0,12-0,18	0,40-0,70	Oțeluri de uz general – max.0,035; S – 0,020-0,040; X – max.0,025; XS – 0,020 – 0,035	Oțeluri de uz general și S – max.0,035; X și XS – max.0,025	0,70-1,00	-	-	-	685	495	12	45	69	179	C,r	Bolțuri, arbori cu came, axe planetare, bucșe, roți dințate, melci
40 Cr 10	0,36-0,44	0,50-0,80			0,80-1,10	-	-	-	980	780	10	45	58	217	C,R	Roți de antrenare, arbori, tije de pistoane, discuri de fricțiune, supape
40 BCr 10	0,36-0,44	0,50-0,80			0,80-1,10	-	-	B 0,001 0,003	930	735	12	50	88	217	C,R	Roți de antrenare, arbori, tije de pistoane, discuri de fricțiune, supape, șuruburi
17 MnCr 10	0,14-0,19	1,00-1,30			0,80-1,10	-	-	-	910	635	10	40	-	207	C,r	Angrenaje mici, arbori, articulații cardanice, piese de comandă
18 MnCr 11	0,15-0,21	0,90-1,20			0,80-1,20	-	-	-	880	735	10	40	-	187	C,r	Bolțuri, pistoane, arbori cu came, roți dințate
20 MnCr 12	0,17-0,22	1,10-1,40			1,00-1,30	-	-	-	980	735	10	35	-	217	C,r	Roți dințate mijlocii, axe
20 TiMnCr 12	0,17-0,23	0,80-1,10			1,00-1,30	-	-	Ti 0,03-0,090	980	880	9	50	78	217	C,r	Roți dințate pentru mașini grele, arbori, arbori cu came
28 TiMnCr 12	0,24-0,32	0,80-1,10			1,00-1,30	-	-	Ti 0,03-0,090	1470	1275	9	40	58	229	C,r	Roți dințate pentru mașini grele, arbori, axe, arbori cu came
19 MoCr 11	0,16-0,22	0,60-0,90			0,90-1,20	-	0,15-0,25	-	1050-1400	750	8	-	50	202	C,r	Angrenaje, piese de articulație, arbori, axe, bolțuri, bucșe, manșoane de cuplaje
21 MoMnCr 12	0,18-0,24	0,80-1,20			1,00-1,40	-	0,20-0,30	-	1080	830	8	40	68	217	C,r	Angrenaje, piese de articulație, arbori, axe, bolțuri, bucșe, manșoane de cuplaje
26 MoCr 11	0,22-0,29	0,60-0,90			0,90-1,20	-	0,15-0,30	-	900-1100	700	12	50	-	212	C,R	Organe de mașini pentru industria de autoturisme
34 MoCr 11	0,30-0,37	0,60-0,90			0,90-1,20	-	0,15-0,30	-	1000-1200	800	11	45	-	223	C,R	Arbori cotiți, axe, fuzete, arbori cu came, biele, roți dințate, șuruburi, cârlige forjate
42 MoCr 11	0,38-0,45	0,60-0,90			0,90-1,20	-	0,15-0,30	-	1100-1300	900	10	40	-	241	C,R	Rotoare de turbină, arbori pt. motoare cu ardere internă, organe de asamblare

Tabelul 3.19 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
51 VMnCr 11	0,47-0,55	0,70-1,10	Oțeluri de uz general – max.0,035; S – 0,020-0,04; X – max.0,025; XS – 0,020 – 0,035	Oțeluri de uz general și S – max.0,035; X și XS – max.0,025	0,90-1,20	-	-	V 0,10-0,20	1100-1300	900	9	40	-	248	C,R	Angrenaje, bile, came
17 CrNi 16	0,14-0,19	0,40-0,60			1,40-1,70	1,40-1,70	-	-	960-1270	685	8	35	-	217	C,r	Roți dințate, roți de lanț și alte piese pentru industria de autoturisme
18 CrNi 20	0,15-0,20	0,40-0,60			1,80-2,10	1,80-2,10	-	-	1220-1450	830	7	30	-	217	C,r	Piese pentru pompe de injecție și transmisii cu roți dințate
40 CrNi 12	0,36-0,44	0,50-0,80			0,45-0,75	1,00-1,40	-	-	980	780	11	45	68	229	C,R	Arbori cotiți, roți dințate, buloane, biele
20 MoNi 35	0,17-0,23	0,40-0,80			-	3,20-3,80	0,20-0,30	-	980	830	9	50	88	207	C,r	Roți dințate, bolțuri pentru pistoane
35 MnSi 13	0,31-0,39	1,10-1,40			-	-	-	Si 1,10-1,40	880	680	15	45	68	229	C,R	Arbori netezi sau cu caneluri, arbori cotiți, bandaje
20 MnCrSi 11	0,17-0,23	0,80-1,10			0,80-1,10	-	-	Si 0,90-1,20	780	635	12	45	68	207	C,R	Oțel economic înlocuitor parțial al mărcii *34 MoCr 11*
25 MnCrSi 11	0,22-0,28	0,80-1,10			0,80-1,10	-	-	Si 0,90-1,20	1080	830	10	40	58	217	C,R	Oțel economic înlocuitor parțial al mărcilor *34 MoCr 11*, *42 MoCr 11* și *40CrNi12*
31 MnCrSi 11	0,28-0,34	0,80-1,10			0,80-1,10	-	-	Si 0,90-1,20	1080	830	10	45	44	229	C,R	Oțel economic înlocuitor parțial al mărcilor *34 MoCrNi 16* și *30 MoCrNi 20*
36 MnCrSi 13	0,32-0,39	0,80-1,10			1,10-1,40	-	-	Si 1,10-1,40	1620	1275	9	40	39	241	Călire izotermă	Oțel economic înlocuitor parțial al mărcilor *34 MoCrNi 16* și *40 CrNi 12*
17 MoCrNi 14	0,14-0,20	0,60-0,90			0,85-1,15	1,20-1,60	0,15-0,25	-	1200-1550	850	8	-	50	223	C,r	Roți dințate, arbori, pene
30 MoCrNi 20	0,26-0,34	0,30-0,60			1,80-2,20	1,80-2,20	0,30-0,50	-	1250-1450	1050	9	40	-	248	C,R	Biele, axe, fuzete, angrenaje mari
34 MoCrNi 16	0,30-0,38	0,40-0,70			1,40-1,70	1,40-1,70	0,15-0,30	-	1200-1400	1000	9	40	-	248	C,R	Biele, arbori cotiți, osii de locomotivă
39 MoAlCr 15	0,35-0,42	0,30-0,60			1,35-1,65	-	0,15-0,25	Si=0,2-0,45 Al=0,7-1,10	980	830	14	15	88	229	C,R	Roți dințate, arbori, role, cămăși de cilindri
C – călire; *R* – revenire înaltă; *r* – revenire joasă																

Tabelul 3.21. **Oțeluri pentru automate**

Marca oțelului	Compoziția chimică [%]					Caracteristici mecanice									Domenii de utilizare
						Oțel laminat la cald					Oțel tras la rece				
	C	Mn	Si	S	P	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	R_m [N/mm^2]	A [%]	Z [%]	HB	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	R_m* [N/mm^2]	A [%]	HB	
AUT 9	max. 0,12	0,50-0,90	-	0,15-0,25	0,035-0,110	210	360-510	23	35	156	0,7R_m	540-800	7	167-229	Şuruburi, piulițe, prezoane
AUT 12	0,08-0,16	0,60-0,90	0,15-0,35	0,08-0,20	0,080-0,150	220	410-560	22	36	160	0,7R_m	560-820	7	157-225	Şuruburi, prezoane, șaibe, știfturi, piulițe
AUT 20	0,15-0,25	0,60-0,90	0,15-0,35	0,08-0,15	max. 0,060	250	450-600	20	30	168	0,7R_m	580-840	7	157-231	Axe, tije, șaibe de presiune, șuruburi și piulițe cu demontare frecventă
AUT 30	0,25-0,35	0,70-1,00	0,15-0,35	0,08-0,15	max. 0,060	-	510-660	15	25	185	-	630-820	6	179-235	Bucșe, bolțuri, știfturi de centrare
AUT 40 Mn	0,35-0,45	1,20-1,60	0,15-0,35	0,18-0,30	max. 0,060	-	590-740	14	20	207	-	590-780	17	174-229	Şuruburi conducătoare pentru mașini-unelte, arbori, arbori canelați, cuplaje cu gheare

* Pentru grosimea epruvetei de 10 mm.

Notarea oţelurilor pentru automate se face prin simbolul *AUT*, urmat de două cifre care arată conţinutul mediu de carbon, în sutimi de procente; simbolul se completează cu literele *Mn*, dacă limita superioară pentru conţinutul de mangan este mai mare de 1% (STAS 1350-89). În tabelul 3.21 se prezintă compoziţia chimică, proprietăţile fizice şi domeniile de utilizare ale mărcilor standardizate.

În afară de oţelurile pentru automate prezentate mai sus, mai există *oţeluri pentru automate aliate cu plumb* (STAS 11521-90), destinate confecţionării unor piese pentru industria de autoturisme şi livrate sub formă de produse laminate la cald sau trase la rece, cojite sau şlefuite. Ele sunt fie oţeluri-carbon de calitate, fie oţeluri aliate pentru construcţii de maşini şi se notează în consecinţă, iar la sfârşitul simbolului este trecut plumbul, acest element îmbunătăţind şi mai mult prelucrabilitatea prin aşchiere şi având un efect de autolubrifiere, astfel că durabilitatea sculelor creşte de până la patru ori. În tabelul 3.22 se prezintă aceste oţeluri.

Tabelul 3.22. **Oţeluri pentru automate aliate cu plumb**

Marca oţelului	Compoziţia chimică [%]							Caracteristici mecanice					Tratamente termice
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Pb	$R_{p0,2}$ [N/mm²]	R_m [N/mm²]	A_5 [%]	KCU [J/cm²]	HB	
OLC 38 Pb	0,34-0,42	0,50-0,80	0,15-0,40	max. 0,030	0,02-0,040	-	0,20-0,30	660	810-980	10	80	241-293	C,R
37 Cr 5 Pb	0,34-0,40	0,60-0,80	0,15-0,40	max. 0,030	0,02-0,040	0,30-0,60	0,20-0,30	780	880-1130	11	70	264-341	C,R
18MnCr11Pb	0,15-0,21	0,90-1,20	0,17-0,37	max. 0,035	0,02-0,040	0,90-1,20	0,20-0,30	540	880-1180	9	-	-	C,r
C – călire; *R* – revenire înaltă; *r* – revenire joasă.													

3.4.2.7. Oţeluri inoxidabile şi refractare. Oţelurile inoxidabile şi refractare sunt oţeluri înalt aliate, îndeosebi cu crom şi nichel, rezistente la coroziune chiar în medii puternic oxidante şi la temperaturi ridicate, elementele de aliere având următoarele influenţe:

- *Cr* formează un strat subţire de protecţie (oxid de crom), rezistent la acţiunea mediilor corosive (aer, apă de mare, acizi, săruri, soluţii alcaline);
- *Ni* contribuie la creşterea rezistenţei la coroziune în medii slab oxidante sau neoxidante, ca şi a ductilităţii, rezistenţei mecanice la cald şi a sudabilităţii;
- *Mo* şi *Cu* cresc rezistenţa la coroziune în medii umede, în acizi reducători şi în clor;
- *Ti* şi *Nb* conferă rezistenţă la coroziunea intercristalină şi măresc sudabilitatea;
- *Si, Al, W* şi *Mo* îmbunătăţesc refractaritatea oţelului.

Oţelurile inoxidabile se utilizează până la temperaturi de 300 ºC, iar la temperaturi mai mari (până la 1000 ºC) se folosesc oţelurile refractare.

După procedeul tehnologic de obţinere a semifabricatelor, oţelurile inoxidabile şi refractare pot fi turnate în piese şi destinate prelucrării prin deformare plastică, iar după structură, feritice, martensitice şi austenitice.

Oţelurile inoxidabile denumite şi *oţeluri rezistente la coroziune* se simbolizează prin literele *GX*, urmate de conţinutul mediu de carbon (în sutimi de procente), de simbolurile chimice ale elementelor de aliere în ordine descrescătoare şi de un al doilea număr care reprezintă conţinutul mediu (în procente) al elementului principal de aliere (primul simbol). În funcţie de tratamentul termic, pentru fiecare marcă de oţel cu diferite niveluri de rezistenţă, se adaugă un sufix, conform normei europene CR 10260. În tabelul 3.23.a sunt prezentate mărcile standardizate de oţeluri turnate rezistente la coroziune (SR EN 10283:1999).

Oţelurile refractare turnate în piese (STAS 6855-92) se simbolizează prin litera *T*, urmată de conţinutul mediu de carbon (în sutimi de procente), de simbolurile chimice ale principalelor elemente de aliere în ordine crescătoare şi de un al doilea număr care reprezintă conţinutul mediu, în zecimi de procente, al elementului principal de aliere (ultimul simbol). În tabelul 3.23.b se prezintă mărcile de oţeluri refractare turnate.

Oţelurile inoxidabile şi refractare prelucrate prin deformare la cald se simbolizează identic cu oţelurile aliate pentru construcţii de maşini (vezi § 3.4.2.4). În tabelul 3.24 sunt prezentate mărcile standardizate de oţeluri inoxidabile (STAS 3583-87) şi refractare (STAS 11523-87) prelucrate prin deformare la cald.

3.4.2.8. Oţeluri rezistente la uzură. Oţelurile rezistente la uzură sunt oţeluri aliate cu mangan, ele prezentând şi o bună călibilitate şi implicit duritate mare. Ele se prelucrează prin deformare plastică la cald sau la rece şi se livrează sub formă de laminate, produse plate, oţel calibrat şi ţevi. Notarea lor este similară cu cea a oţelurilor aliate pentru construcţii de maşini.

În tabelul 3.25 se prezintă mărcile standardizate (STAS 11513-88), precum şi compoziţiile chimice, caracteristicile mecanice şi principalele domenii de utilizare.

3.4.2.9. Oţeluri pentru călire superficială. Oţelurile pentru călire superficială sunt oţeluri nealiate sau aliate, cu un conţinut de minimum 0,33% C, având calităţi corespunzătoare pentru călire superficială, în vederea obţinerii unui strat exterior cu rezistenţă mare la uzură. În acelaşi timp, prezintă un miez cu rezistenţă şi tenacitate ridicate.

Duritatea stratului superficial călit este direct proporţională cu conţinutul de carbon, iar grosimea acestui strat creşte odată cu conţinutul unor elemente de aliere. Pentru evitarea apariţiei fisurilor în urma călirii, se reduc la minimum unele elemente însoţitoare (Mn, Si, Cr, Ni) şi se adaugă cantităţi mici de Al, Ti, B etc.

Oţelurile pentru călire superficială se notează ca şi oţelurile-carbon de calitate sau aliate, la care se adaugă literele *CS* (prescurtare de la *călire superficială*). În tabelul 3.26 se prezintă mărcile standardizate în România (STAS 10677-84).

Tabelul 3.23.a. **Oțeluri turnate rezistente la coroziune**

Simbolizare		Compoziția chimică [%]											Caracteristici fizice				Caracteristici mecanice				Tratamente termice
Alfanumerică	Numerică	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	N_2	Cu	Altele	ρ [kg/dm^3]	c_p [J/kg·K]	λ [W/m·K]	α [10^{-6}·K^{-1}] (100°C)	$R_{p0,2}$ [Mpa] (min.)	R_m [Mpa] (min.)	A [%](min.)	KV [J] (min.)	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
a) - Oțeluri martensitice																					
GX12Cr12	1.4011	0,15	1,00	1,00	0,035	0,025	11,50-13,50	max. 0,50	max. 1,00	-	-	-	7,7	440	26	10,5	450	620	15	20	R, C $R_î$
GX7CrNiMo12-1	1.4008	0,10	1,00	1,00	0,035	0,025	12,00-13,50	0,20-0,50	1,00-2,00	-	-	-	7,7	460	26	10,5	440	590	15	27	R, C $R_î$
GX4CrNi13-4	1.4317	0,06	1,00	1,00	0,035	0,025	12,00-13,50	max. 0,70	3,50-5,00	-	-	-	7,7	460	27	10,5	550	760	15	50	R, C $R_î$
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	0,06	0,80	1,00	0,035	0,025	15,00-17,00	0,70-1,50	4,00-6,00	-	-	-	7,8	460	18	10,8	540	760	15	60	R, C $R_î$
GX4CrNiMo16-5-2	1.4411	0,06	0,80	1,00	0,035	0,025	15,00-17,00	1,50-2,00	4,00-6,00	-	-	-	7,8	460	18	11,0	540	760	15	60	R, C $R_î$
GX5CrNiCu16-4	1.4525	0,07	0,80	1,00	0,035	0,025	15,00-17,00	max. 0,80	3,50-5,50	max. 0,05	2,50-4,00	Nb≤ 0,35	7,8	460	18,5	11,8	750	900	12	20	R, C $R_î$
b) - Oțeluri austenitice																					
GX2CrNi19-11	1.4309	0,03	1,50	2,00	0,035	0,025	18,00-20,00	-	9,00-12,00	max. 0,20	-	-	7,88	530	16,5	16,8	185	440	30	80	R C
GX5CrNi19-10	1.4308	0,07	1,50	1,50	0,040	0,030	18,00-20,00	-	8,00-11,00	-	-	-	7,88	530	16,5	16,8	175	440	30	60	R C
GX5CrNiNb19-11	1.4552	0,07	1,50	1,50	0,040	0,030	18,00-20,00	-	9,00-12,00	-	-	Nb=8 %C-1,00	7,88	530	16,5	16,8	175	440	25	40	R C

Tabelul 3.23.a (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
GX2CrNiMo19-11-2	1.4409	0,03	1,50	2,00	0,035	0,025	18,00-20,00	2,00-2,50	9,00-12,00	max. 0,20	-	-	7,9	530	15,8	15,8	195	440	30	80	R C
GX5CrNiMo19-11-2	1.4408	0,07	1,50	1,50	0,040	0,030	18,00 20,00	2,00-2,50	9,00-12,00	-	-	-	7,9	530	15,8	15,8	185	440	30	60	R C
GX5CrNiMoNb19--11-2	1.4581	0,07	1,50	1,50	0,040	0,030	18,00-20,00	2,00-2,50	9,00-12,00	-	-	Nb=8 x%C-1,00	7,9	530	15,8	15,8	185	440	25	40	R C
GX5CrNiMo19-11-3	1.4412	0,07	1,50	1,50	0,040	0,030	18,00-20,00	2,00-2,50	3,00-3,50	10,0-13,00	-	-	7,9	530	15,8	15,8	205	440	30	60	R C
GX2CrNiMoN17--13-4	1.4446	0,03	1,50	1,50	0,040	0,030	16,50-18,50	4,00-4,50	12,50-14,50	0,12-0,22	-	-	7,9	530	15	16	210	440	20	50	R C
c) - Oțeluri complet austenitice																					
GX2NiCrMo28-20-2	1.4458	0,03	1,00	2,00	0,035	0,025	19,00-22,00	2,00-2,50	26,00-30,00	max. 0,20	max. 2,00	-	8,0	500	17	14,5	165	430	30	60	R C
GX4NiCrCuMo30--20-4	1.4527	0,06	1,50	1,50	0,040	0,030	19,00-22,00	2,00-3,00	27,50-30,50	-	3,00-4,00	-	8,0	500	16	15,1	170	430	35	60	R C
GX2NiCrMoCu25--20-5	1.4584	0,025	1,00	2,00	0,035	0,020	19,00-21,00	4,00-5,00	24,00-26,00	max. 0,20	1,00-3,00	-	8,0	500	21	15,1	185	450	30	60	R C
GX2NiCrMoN25--20-5	1.4416	0,030	1,00	1,00	0,035	0,020	19,00-21,00	4,50-5,50	24,00-26,00	0,12-0,20	-	-	8,0	450	13,2	15,1	185	450	30	60	R C
GX2NiCrMoCuN29--25-5	1.4587	0,030	1,00	2,00	0,035	0,025	24,00-26,00	4,00-5,00	28,00-30,00	0,15-0,25	2,00-3,00	-	8,0	500	21	14,5	220	480	30	60	R C
GX2NiCrMoCuN25-20-6	1.4588	0,025	1,00	2,00	0,035	0,020	19,00-21,00	6,00-7,00	24,00-26,00	0,10-0,25	0,50-1,50	-	8,0	500	16	16,5	210	480	30	60	R C
GX2CrNiMoCuN20--18-6	1.4593	0,025	1,00	1,20	0,030	0,010	19,50-20,50	6,00-7,00	17,50-19,50	0,18-0,24	0,50-1,00	-	7,9	500	16	16,5	260	500	35	50	R C

Tabelul 3.23.a (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
d) - Oțeluri austenito-feritice																					
GX6CrNiN26-7	1.4347	0,08	1,50	1,50	0,035	0,020	25,00 27,00	-	5,50-7,50	0,10-0,20	-	-	7,7	500	-	12,5	420	590	20	30	R C
GX2CrNiMoN22--5-3	1.4470	0,03	1,00	2,00	0,035	0,025	21,00 23,00	2,50-3,50	4,50-6,50	0,12-0,20	-	-	7,7	450	19	13	420	600	20	30	R C
GX2CrNiMoN25--6-3	1.4468	0,03	1,00	2,00	0,035	0,025	24,50 26,50	2,50-3,50	5,50-7,00	0,12-0,25	-	-	7,7	450	18	13	480	650	22	50	R C
GX2CrNiMoCuN25--6-3-3	1.4517	0,03	1,00	1,50	0,035	0,025	24,50 26,50	2,50-3,50	5,00-7,00	0,12-0,22	2,75-3.50	-	7,7	450	18	13	480	650	22	50	R C
GX2CrNiMoN25--7-3	1.4417	0,03	1,00	1,50	0,030	0,020	24,00 26,00	3,00-4,00	6,00-8,50	0,15-0,25	max. 1,00	W≤ 1,00	7,7	450	18	13	480	650	22	50	R C
GX2CrNiMoN26--7-4	1.4469	0,03	1,00	1,00	0,035	0,025	25,00 27,00	3,00-5,00	6,00-8,00	0,12-0,22	max. 1,30	-	7,7	450	18	13	480	650	22	50	R C

ρ – densitatea; c_p – capacitatea termică masică; λ – conductibilitatea termică; α –dilatarea termică; *KV* – energia de rupere; *R* – recoacere de punere în soluție; *C* – călire; *Rî* – revenire înaltă.

Tabelul 3.23.b. **Oțeluri refractare turnate în piese**

Marca oțelului	Compoziția chimică [%]									Caracteristici fizice					Caracteristici mecanice					Tratamente termice
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Alte elemente	ρ [kg/dm^3]	α [$10^{-6}\cdot K^{-1}$] (100°C)	λ [W/m·K]	c_p [J/g·K]	Coef.de contracție [%]	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	R_m [N/mm^2]	A [%]	KV [J]	HB	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T 20 MoCr 90	max. 0,20	max. 1,0	0,30-0,70	max. 0,040	max. 0,040	8,0-10,0	0,90-1,20			-	-	-	-	-	420	min. 620	13		180-260	I
T 40 SiCr 130	0,30-0,50	1,0 - 2,50	0,50-1,00			12,0-14,0	-	-		7,7	12,5	18,8				490-780	4		200-300	
T 40 Cr 280						27,0-30,0				7,5	11,5			2,0		-				R
T 70 MoCr 280	0,50-0,90	max. 2,0	max. 1,0	max. 0,045			2,0-2,5			7,5	11,0	19,0			-	880-980	-		260-300	
T 35 NiCr 250	0,30-0,45	1,0-2,5	0,5-1,5			24,0-26,0	-	11,0-14,0		7,8	17,5	14,6				440-640	8		130-200	
T 25 NiCr 250	max. 0,25		max. 1,50	max. 0,035		23,0-27,0	-	18,0-21,0	-	7	-	-			225	min. 490	10	-	140-190	
T 40 NiCr 250	0,30-0,50	1,0-2,5	0,50-1,5	max. 0,045	max. 0,030	24,0-26,0	-	19,0-21,0		7,9	17,0	14,6	0,50		-	440-640				
T 20 CrNi 370	max. 0,20		1,0-2,0	max. 0,035		16,0-20,0	-	35,0-39,0			-	-		2,5	195	min. 390	8		150-220	C
T 40 CrNi 370	0,35-0,65	max. 2,50	max. 2,0	max. 0,040		14,0-20,0	-	33,0-40,.0							-	390-590				
T 40 CrNi 350	0,30-0,50	1,0-2,5	0,5-1,5	max. 0,040		24,0-26,0	-	34,0-36,0		8,0	15,5	14,6			-	440-640				
T 10 NbCrNi 350	max. 0,10	max. 2,0	max. 2,0			24,0-27,0	-	33,0-37,0			-	-			180	min. 300	5		150-250	

ρ – densitatea; c_p – capacitatea termică masică; α – coeficient de dilatare liniară; λ – conductibilitatea termică; *KV* – energia de rupere; *R* – recoacere; *C* – călire; *I* – îmbunătățire.

Tabelul 3.24. **Oțeluri inoxidabile şi refractare prelucrate prin deformare la cald**

Marca oțelului	Compoziția chimică, %									Caracteristici fizice					Caracteristici mecanice						Tratamente termice
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Ti	Alte elemente	ρ [kg/dm³]	α [10⁻⁶·K⁻¹]	λ [W/m·K]	c_p [J/g·K]	ρ[Ω·mm²/m]	$R_{p0,2}$ [N/mm²]	R_m [N/mm²]	E [10³ N/mm²]	A, [%]		HB	
																		Longitud.	Transvers.		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1) Oțeluri inoxidabile *a) Oțeluri feritice*																					
7 AlCr 130	max 0,08	max 1,0	max 1,0	12,0-14,0	-	-	0,10-0,30	-	-	7,7	10,5	30	0,46	0,60	250	400-600	213	20	15	185	R
															400	550-700		18	13	-	I
8 Cr 170	max 0,08	max 1,0	max 1,0	15,5-17,5	-	-	-	-	-	7,7	10,0	25	0,46	0,60	270	450-600	220	20	18	185	R
8 TiCr 170	max 0,08	max 1,0	max 1,0	16,0-18,0	-	-	-	1,20	-	7,7	10,0	25	0,46	0,60	270	450-600	220	20	18	185	R
2 TiMoCr 180	max 0,025	max 1,0	max 1,0	17,0-20,0	max 0,60	1,80-2,50	-	0,80	-	7,7	10,5	29	0,46	0,60	275	min 412	210	20	-	217	R
1 MoCr 260	max 0,01	max 0,40	max 0,40	25,0-27,5	-	0,75-1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	245	min 412	-	20	-	190	R
b) Oțeluri martensitice																					
10 Cr 130	0,08-0,12	max 1,0	max 1,0	12,0-14,0	-	-	-	-	-	7,7	10,5	30	0,46	0,60	250	450-650	213	20	15	200	R
															420	600-800		16	12	-	I
20 Cr 130	0,17-0,25	max 1,0	max 1,0	12,0-14,0	-	-	-	-	-	7,7	10,5	30	0,46	0,60	-	max 740	213	-	-	230	R
															450	650-800		15	11	-	I
30 Cr 130	0,28-0,35	max 1,0	max 1,0	12,0-14,0	-	-	-	-	-	7,7	10,5	30	0,46	0,65	-	max 780	218	-	-	245	R
															600	800-1000		11	-	-	I
40 Cr 130	0,35-0,42	max 1,0	max 1,0	12,5-14,5	-	-	-	-	-	7,7	10,5	30	0,46	0,65	-	max 800	218	-	-	250	R

Tabelul 3.24 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
20 MoCr 130	0,17-0,22	max 1,0	max 1,0	12,0-14,0	max 1,0	0,90-1,30	-	-	-	7,7	10,5	29	0,46	0,55	-	max 800	213	-	-	235	R
															550	750-900		14	-	-	I
35 MoCr 165	0,33-0,45	max 1,0	max 1,0	15,5-17,5	max 1,0	0,90-1,30	-	-	-	7,7	10,5	29	0,46	0,55	-	max 950	218	-	-	285	R
															600	800-950		14	-	-	I
45 VMoCr 145	0,42-0,50	max 1,0	max 1,0	13,8-15,0	-	0,45-0,60	-	-	V=0,10-0,15	7,7	10,5	30	0,46	0,65	-	max 900	218	-	-	280	R
90 VMoCr 180	0,85-0,95	max 1,0	max 1,0	17,0-19,0	-	0,90-1,30	-	-	V=0,07-0,12	7,7	10,5	29	0,46	0,65	-	-	229	-	-	265	R
90 Cr 180	0,90-1,00	max 1,0	max 1,0	17,0-19,0	-	-	-	-	-	7,7	10,5	29	0,46	0,65	-	max 900	229	-	-	255	R
22 NiCr 170	0,14-0,25	max 1,0	max 1,0	15,5-17,5	1,5-2,5	-	-	-	-	7,7	10,0	25	0,46	0,70	-	max 950	213	-	-	295	R
															550	750-950		14	10	-	I
c) Oțeluri austenitice																					
2 NiCr 185	max 0,03	max 1,0	max 2,0	18,0-20,0	10,0-12,5	-	-	-	-	7,9	16,0	15	0,50	0,73	180	460-680	194	45	42	-	C
5 NiCr 180	max 0,07	max 1,0	max 2,0	17,0-19,0	8,5-10,5	-	-	-	-	7,9	16,0	15	0,50	0,73	195	500-700	194	45	40	-	C
10 TiNiCr 180	max 0,08	max 1,0	max 2,0	17,0-19,0	9,0-12,0	-	-	0,80	-	7,9	16,0	15	0,50	0,73	200	500-730	194	40	35	-	C
10 TiMoNiCr 175	max 0,08	max 1,0	max 2,0	16,5-18,5	10,5-13,5	2,0-2,5	-	0,80	-	7,98	16,5	15	0,50	0,75	210	500-730	194	35	35	-	C
12 NNiMnCr 180	max 0,15	max 1,0	7,5-10,0	17,0-19,0	4,0-6,0	-	-	0,80	N=max 0,25	-	-	-	-	-	300	640-830	-	40	40	-	C
2 MoNiCr 175	max 0,03	max 1,0	max 2,0	17,0-18,5	12,5-15,0	2,5-3,0	-	-	S=max 0,025	7,98	16,5	15	0,50	0,75	190	490-690	194	35	40	-	C
2 CuMoCrNi 250	max 0,02	max 1,0	max 2,0	19,0-22,0	24,0-27,0	4,0-5,0	-	-	Cu=1,0-2,0	7,95	14,7	17	-	-	220	540-740	-	40	40	-	C
2 NbNiCr 250	max 0,03	max 0,40	max 1,0	23,0-26,0	19,0-22,0	-	-	-	Nb=0,2-0,30	7,95	14,5	17	-	-	215	480-680	-	40	40	-	C

Tabelul 3.24 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
2) Oțeluri refractare																					
10 AlCr 70	max 0,12	0,50-1,00	max 1,0	6,0-8,0	-	-	0,50-1,00	-	-	7,7	11,5	23	0,45	0,69	220	420-620	-	20	15	192	R
10 AlCr 180	max 0,12	0,70-1,40	max 1,0	17,0-19,0	-	-	0,70-1,20	-	-	7,7	10,5	19	0,45	0,95	270	500-700	-	12	9	212	R
10 AlCr 240	max 0,12	0,70-1,40	max 1,0	23,0-26,0	-	-	1,20-1,70	-	-	7,7	10,5	17	0,45	1,10	280	520-720	-	10	7	223	R
12 TiNiCr 180	max 0,12	max 1,0	max 2,0	17,0-19,0	9,0-11,5	-	-	0,80	-	7,9	17,0	15	0,50	0,75	210	500-750	-	40	30	192	C
12 NiCr 250	max 0,15	max 0,75	max 2,0	24,0-26,0	19,0-22,0	-	-	-	-	7,9	16,5	14	0,50	0,85	210	500-750	-	35	26	192	C
15 SiNiCr 200	max 0,20	1,50-2,50	max 2,0	19,0-21,0	11,0-13,0	-	-	-	-	7,9	15,5	15	0,50	0,85	230	500-750	-	30	22	223	C
15 SiNiCr 250	max 0,20	1,50-2,50	max 2,0	24,0-26,0	19,0-21,0	-	-	-	-	7,9	15,5	14	0,50	0,90	230	500-750	-	30	22	223	C
40 SiNiCr 250	0,30-0,50	1,00-2,50	0,50-1,50	24,0-26,0	19,0-21,0	-	-	-	-	7,9	-	14,6	0,50	-	-	440-640	-	-	8	220	C
12 SiCrNi 360	max 0,12	1,0-2,0	max 2,0	15,0-17,0	34,0-37,0	-	-	-	-	8,0	15,0	13	0,50	1,0	230	550-800	-	30	22	223	C
10 TiAlCrNi 320	max 0,12	max 1,0	max 2,0	19,0-23,0	30,0-34,0	-	0,15-0,60	0,15-0,60	-	8,0	15,0	12	0,50	1,0	210	500-750	-	30	22	192	C
3) Oțeluri rezistente mecanic la temperaturi ridicate																					
20 VNiMoCr 120	0,17-0,23	0,10-0,50	max 1,2	10,0-12,5	0,30-0,80	0,80-1,20	-	-	V=0,25-0,35	7,7	11,0	24	0,46	0,60	490	690-830	-	16	14	-	I
20 VNiWMoCr 120	0,17-0,25	0,10-0,50	0,30-0,80	11,0-12,5	0,30-0,80	0,80-1,20	-	-	V=0,25-0,35 W=0,4-0,60	7,7	10,0	24	0,46	0,60	590	780-830	-	14	12	-	I

Observații: ρ –masa volumică; α – coeficient de dilatare liniară între 20 şi 100ºC (pentru oțeluri inoxidabile) şi 20…200 ºC (pentru oțeluri refractare); λ – conductibilitatea termică; c_p – capacitatea termică masică; ρ – rezistivitatea electrică; *R* – recoacere; *C* – călire; *I* – îmbunătățire.

Tabelul 3.25. **Oțeluri rezistente la uzură**

Marca oțelului	Compoziția chimică, %								Caracteristici mecanice						Tratam. termic	Domenii de utilizare
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	R_m [N/mm^2]	A_5 [%]	Z [%]	KCU [J/cm^2]	HB		
20 Mn 10	0,17-0,24	0,17-0,37	0,70-1,00	max. 0,035	max. 0,035	max. 0,30	max. 0,30	max. 0,30	270	450	24	50	-	179	N	Elemente de structuri portante (lonjeroane) la tractoare şi maşini agricole.
35 Mn 16	0,32-0,40		1,40-1,80						360	620	13	-	-	229	N	Piese rezistente la uzură prin abraziune şi pentru cuple automate la vagoane de cale ferată, organe de maşini (axe arbori, roți, came, lonjeroane, zale de şenile).
									510	740	12	-	59		C;R	
40 Mn 10	0,37-0,45		0,70-1,00						350	590	17	45	60	229	N	Profiluri pentru talpa şenilelor de tractor şi excavator, bare calibrate pentru bolțurile şenilelor de tractor.
									440	690	15	50	-		C;R	
65 Mn 10	0,62-0,70		0,90-1,20						785	981	8	30	-	241	C;R	Piese solicitate intens, inclusiv la şocuri (elemente ale cilindrilor de laminare, bacuri, fălci, arbori, axe, pivoți, bolțuri, piese de tăiere pentru maşini agricole, căptuşeli de concasoare, mori cu bile şi ciocane, bene şi lame de excavator şi de buldozer).

Observații: N – normalizare; *C* – călire; *R* – revenire.

Tabelul 3.26. **Oțeluri pentru călire superficială**

Marca oțelului	Compoziția chimică, %								Duritatea					
	C	Mn	Si	P max.	S max.	Cr	Mo	Alte elemente	HB, pentru stările				HRC	
									Laminat	Recopt	Normali-zat	Tras la rece	Prin inducție	Cu flacără
OLC 35 CS	0,33 – 0,38	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,035	0,035	max 0,20	-	-	187	187	200	235	50	48
OLC 45 CS	0,43 – 0,48	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,035	0,035	max 0,20	-	-	229	197	235	255	55	53
OLC 55 CS	0,52 – 0,57	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,035	0,035	max 0,20	-	-	255	217	245	269	57	55
40 Cr 10 CS	0,37 – 0,43	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,025	0,025	0,80 – 1,10	-	-	-	217	-	265	54	52
40 BCr 10 CS	0,37 – 0,43	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,025	0,025	0,80 – 1,10	-	B=0,001 – 0,003	-	217	-	265	54	52
33 MoCr 11 CS	0,30 – 0,36	0,40 – 0,80	0,17 – 0,37	0,025	0,025	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	-	-	217	-	265	50	48
34 MoCrNi 15 CS	0,32 – 0,38	0,40 – 0,70	0,17 – 0,37	0,025	0,025	1,40 – 1,70	0,15 – 0,30	Ni=1,40-1,70	-	217	-	275	51	48
41 MoCr 11 CS	0,37 – 0,43	0,40 – 0,80	0,17 – 0,37	0,025	0,025	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	-	-	217	-	265	54	52

Observație: La toate mărcile se admit următoarele conținuturi maxime de elemente reziduale: Ni = 0,30%; Cu = 0,30%; Ti = 0,02%; As = 0,05%.

3.4.3. Oțeluri cu destinație precizată

Oțelurile cu destinație precizată sunt utilizate în domenii limitate, din această categorie făcând parte oțelurile pentru arcuri, oțelurile pentru rulmenți, oțelurile pentru țevi, oțelurile pentru table de cazane şi recipiente sub presiune, oțelurile pentru sârme de sudare, oțelurile pentru supape, oțelurile pentru organe de asamblare, oțelurile pentru autovehicule şi tractoare, oțelurile pentru autoturisme, oțelurile pentru lanțuri şi oțelurile pentru şine de cale ferată.

3.4.3.1. Oțeluri pentru arcuri. Oțelurile pentru arcuri sunt oțeluri-carbon sau slab aliate, caracterizate de o limită de elasticitate foarte ridicată (peste 700 N/mm^2), rezistență la oboseală foarte bună, caracteristici mecanice stabile în timp şi o plasticitate adecvată tehnologiei de obținere a arcurilor. Caracteristicile mecanice necesare se obțin prin conținuturi mărite de C, Si şi Mn şi adaosuri de Cr şi V, precum şi prin tratamente termice. Aceste oțeluri se obțin prin deformare plastică la cald sau la rece şi se prezintă sub formă de bare, benzi sau sârme, iar arcurile pot fi sub formă de foi, elicoidale, spirale, disc, inelare, plăci elastice, bare de torsiune etc.

Notarea oțelurilor pentru arcuri se face ca în cazul oțelurilor-carbon de calitate sau al oțelurilor aliate pentru construcții de maşini, la sfârşit adăugându-se litera *A* (prescurtare de la *arc*).In tabelul 3.27 se prezintă mărcile standardizate de oțeluri pentru arcuri (STAS 795-92).

3.4.3.2. Oțeluri pentru rulmenți. Oțelurile pentru rulmenți sunt oțeluri laminate la cald sau trase la rece, cojite, şlefuite şi calibrate. Ele trebuie să fie lipsite de defecțiuni macroscopice (segregații, sufluri, fulgi, fisuri), să prezinte incluziuni nemetalice cât mai puține şi mai uniform distribuite, să aibă o capacitate de deformare prin presare la cald şi la rece bună, o prelucrabilitate prin aşchiere pe maşini-unelte automate satisfăcătoare, o călibilitate bună şi constantă, să se preteze bine la rectificare în stare călită şi să asigure o stabilitate dimensională a pieselor finite chiar şi la o depozitare îndelungată. În mod obişnuit, sunt aliate cu crom şi sunt destinate fabricării rulmenților, dar se pot utiliza şi la confecționarea unor scule aşchietoare.

Notarea oțelurilor pentru rulmenți se face prin simbolul *RUL*, urmat de un număr de ordine. Există şi oțeluri pentru rulmenți tratate în vid, cu caracteristici superioare, identificate prin litera *v* la sfârşit. Ambele tipuri se elaborează în cuptoare electrice.

În tabelul 3.28 se prezintă mărcile standardizate de oțeluri pentru rulmenți obişnuite (STAS 1456/1-89) şi tratate în vid (STAS 11250-89).

3.4.3.3 Oțeluri pentru țevi. Oțelurile pentru țevi sunt oțeluri-carbon sau aliate, laminate la cald în țagle rotunde sau pătrate şi destinate fabricării țevilor pentru construcții, instalații, cazane, cuptoare sau industriei petroliere (prăjini de foraj, burlane, țevi de extracție).

Notarea oțelurilor-carbon pentru țevi se face prin simbolul *OLT*, urmat de valoarea minimă a rezistenței de rupere la tracțiune, exprimată în daN/mm^2.

Tabelul 3.27. **Oțeluri pentru arcuri**

Marca oțelului	Compoziția chimică, %							Caracteristici mecanice					Domenii de utilizare
	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Alte elemente	$R_{p0,2}$ [N/mm²]	R_m [N/mm²]	A_5 [%]	HB		
											Laminat	Recopt	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a) Oțeluri-carbon													
OLC 55 A	0,50-0,60	0,17 ... 0,37	0,50-0,80	0,040	0,040	max. 0,30	-	880	1080	6	285	229	Arcuri elicoidale (de întindere și compresiune) pentru supape de închidere, amortizoare, clicheți, tampoane și ungătoare, precum și arcuri-foi (pentru vehicule) cu grosimea foii până la 10 mm, exploatate în condiții de solicitare redusă, în medii necorozive și la temperaturi de până la 100 ºC.
OLC 65 A	0,62-0,70							780	980	10	285	229	
OLC 70 A	0,65-0,75		0,35-0,80					790	1080	9	321	235	
OLC 75 A	0,70-0,80		0,50-0,80					880	1080	9	321	235	Aceleași ca mai sus , precum ți arcuri pentru mecanisme și aparate de precizie (ceasornice) și inele de fixare pentru rulmenți , utilizabile până la 150 ºC.
OLC 85 A	0,82-0,90							980	1130	8	363	235	
OLC 90 A	0,85-0,95	0,15-0,37	0,20-0,50					980	1130	7	363	235	
b) Oțeluri aliate													
40 Si 17 A	0,35-0,45	1,5-1,9	0,55-0,95	0,040	0,040	max. 0,30	-	980	1180	6	285	245	Arcuri-foi pentru tramvaie și vagoane, cu grosimea foii până la 7 mm, exploatate în condiții de solicitare medie, arcuri elicoidale de compresiune și destindere rapidă pentru tampoanele vagoanelor și locomotivelor, plăci elastice, arcuri-disc cu forme complicate și dimensiuni mari, toate putând fi utilizate până la 200 ºC.
51 Si 17 A	0,47-0,55	1,5-2,0	0,60 0,90					1080	1180	6	321	235	
56 Si 17 A	0,52-0,60	1,40-2,00	0,60-1,00					1080	1270	6	321	235	
60 Si 15 A	0,55-0,65	1,30-1,80	0,80-1,10					1270	1470	6	363	235	*

Tabelul 3.27. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
51 VCr 11 A	0,47-0,55	0,15-0,35	0,80-1,10	0,035	0,035	0,90-1,20	V= 0,07 0,12	1180	1320	6	363	235	Arcuri pentru vehicule şi pentru suspensii solicitate puternic şi lucrând în mediu umed , arcuri elicoidale, inelare şi disc şi bare de torsiune cu diametrul peste 40 mm, toate putând lucra până la 300 ºC.
60 CrMnSi12A	0,55-0,65	1,00-1,30	0,90-1,10	0,035	0,035	0,40-0,70	-	1230	1370	7	400	235	
65 WSi 18 A (65 2 S W)	0,61-0,69	1,50-2,00	0,70-1,00	0,025	0,025	max. 0,30		1668	1864	5	363	205	

* Arcuri-foi pentru vehicule, cu grosimea foii peste 7 mm, pentru solicitări medii, benzi elastice, arcuri elicoidale , resorturi pentru supape de manevră, de siguranţă şi de reducere a presiunii, regulatoare de viteză , arcuri pentru capace grele şi sarcini dinamice, arcuri-tampon, arcuri-disc şi arcuri inelare.

Tabelul 3.28. **Oţeluri pentru rulmenţi**

Marca oţelului	Compoziţia chimică, %									Duritatea HB max.	Domenii de utilizare
	C	Mn	Si	Cr	S max.	P max.	Mo	Ni max.	Cu max.		
a) Oţeluri pentru rulmenţi obişnuite											
RUL 1	0,95-1,10	0,20-0,45	0,17-0,37	1,30-1,65	0,020	0,027	-	0,30	0,25	207	Fabricarea rulmenţilor, sculelor (filiere, alezoare, dornuri de perforare, broşe mici, calibre pentru filete) supapelor şi instrumentelor de măsurare.
RUL 2	0,95-1,10	0,90-1,20	0,40-0,65	1,30-1,65	0,02	0,027	-	0,30	0,25	217	Fabricarea rulmenţilor de dimensiuni mari.
a) Oţeluri pentru rulmenţi tratate în vid											
RUL 1 v	0,95-1,10	0,20-0,45	0,17 0,37	1,30-1,65	0,02	0,027	max. 0,080	0,30	0,25	250	
RUL 2 v	0,95-1,10	0,90-1,20	0,40 0,65	1,30-1,65	0,02	0,027	max. 0,080	0,30	0,25	250	
RUL 3 v	0,95-1,10	1,05-1,35	0,17-0,37	1,10-1,50	0,02	0,02	0,45-0,60	0,30	0,25	250	

Dacă oţelul este destinat fabricării ţevilor utilizate la temperaturi ridicate, la simbolurile de mai sus se adaugă litera *K*, iar dacă este destinat fabricării ţevilor utilizate la temperaturi scăzute, se adaugă litera *R* .Oţelurile aliate pentru ţevi se simbolizează similar oţelurilor aliate.

Clasificarea detaliată a mărcilor de oţeluri pentru ţevi este prezentată în tabelul 3.29.

3.4.3.4. Oţeluri pentru table de cazane şi recipiente sub presiune. Acest domeniu de întrebuinţare cuprinde oţeluri-carbon slab aliate şi aliate, sub formă de tablă laminată la cald, destinate construcţiei cazanelor şi recipientelor sub presiune care lucrează la temperatură ambiantă, scăzută şi ridicată. Ele trebuie să aibă o limită de curgere cât mai ridicată, să fie rezistente la coroziune şi la fluaj, să aibă o tenacitate bună şi să fie uşor sudabile.

Notarea oţelurilor pentru table de cazane şi recipiente sub presiune care lucrează la temperatură ambiantă şi scăzută se face prin litera *R*, urmată de un număr ce reprezintă valoarea minimă a rezistenţei de rupere la tracţiune, exprimată în N/mm^2, iar a celor care lucrează la temperatură ridicată sau în mediu de hidrogen, prin litera *K*, urmată de valoarea rezistenţei minime de rupere la tracţiune. Notarea mărcilor de oţeluri aliate care fac parte din această categorie se face ca în cazul celorlalte oţeluri aliate.

Clasificarea, simbolizarea, compoziţia chimică şi caracteristicile mecanice ale oţelurilor pentru table de cazane şi recipiente sub presiune sunt prezentate în tabelul 3.30.

3.4.3.5.Oţeluri pentru sârme de sudare. Oţelurile pentru sârme de sudare sunt oţeluri-carbon şi îndeosebi aliate, destinate ca material de adaos la sudare, sub formă de sârmă sau electrozi. Ele se produc prin trefilare, au diametre de 0,5…12mm şi se livrează în stare cuprată, cu excepţia celor inoxidabile şi refractare, precum şi a celor destinate fabricării electrozilor şi sudării oxiacetilenice.

Se notează prin litera *S* (prescurtare a cuvântului *sudare*), urmată de conţinutul mediu de carbon, în sutimi de procente, şi simbolurile chimice ale principalelor elemente de aliere, urmate de cifre care arată conţinuturile medii ale acestor elemente, în procente, când aceste conţinuturi depăşesc 1%. În tabelul 3.31 se prezintă aceste oţeluri (STAS 1126-87).

3.4.3.6. Oţeluri pentru supape. Oţelurile pentru supape sunt oţeluri aliate folosite la fabricarea supapelor şi a locaşurilor pentru supape de la motoarele cu ardere internă. Pe lângă rezistenţa la oxidare la temperaturi ridicate, aceste oţeluri trebuie să prezinte caracteristici superioare privind rezistenţele la oboseală, fluaj şi uzură, alături de o bună tenacitate. Pentru obţinerea acestor proprietăţi se utilizează cromul, siliciul, nichelul, molibdenul, wolframul şi chiar azotul, precum şi tratamente termice adecvate. Ele se livrează sub formă de bare laminate sau forjate, supuse controlului defectoscopic nedistructiv.

Notarea oţelurilor pentru supape se face identic cu a oţelurilor aliate. În tabelul 3.32 se prezintă mărcile standardizate în România (SR EN 10090:2000).

Tabelul 3.29. **Oțeluri pentru țevi**

Marca oțelului	Compoziția chimică, %									Caracteristici fizice la 100 ºC						Caracteristici mecanice					Domenii de utilizare
	C	Mn	Si	Cr	Mo	P max.	S max.	Al	Alte elemente	E [10^4N/mm^2]	λ [W/m·ºC]	ρ_1 [Ω·mm^2/mºC]	α [10^{-6}·m/mºC]	c_p [J/g·ºC]	ρ_2 [kg/dm^3]	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	R_m [N/mm^2]	A [%]	Z [%]	KCU [J/cm^2]	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
a) Oțeluri pentru țevi fără sudură, de uz general (STAS 8183-80)																					
OLT 35	0,09-0,16	0,40-0,80	0,17-0,37	-	-	0,040	0,045	-	-							230	340	26			Țevi și conducte pentru industriile petrolieră și energetică, flanșe, ștuțuri.
OLT 45	0,17-0,24	0,40-0,80	0,17-0,37	-	-	0,040	0,045	-	-							250	440	21			
OLT 65	0,40-0,50	0,70-1,00	0,17-0,37	-	--	0,040	0,045	-	-							370	640	16			Țevi de presiuni mari pentru industriile petroliere și chimică, acționări hidrostatice.
b) Oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi ridicate (STAS 8184-87 3/88)																					
OLT 35 K	max 0,17	0,40-0,90	0,15-0,35	-	-	0,040	0,040	0,020-0,045	-	20,5	57	0,24	12,5	0,50	7,85	225	350-450	26	60	60	Fascicule tubulare din componența cazanelor energetice și a recipientelor și aparatelor sub presiune din industria chimică și petrochimică, utilizate în regim de lungă durată, până la 500 ºC.
OLT 45 K	max 0,23	0,40-1,20	0,15-0,35	-	-	0,040	0,040	0,020-0,045	-	20,5	57	0,24	12,5	0,50	7,85	245	450-550	21	60	60	
16 Mo 3	0,12-0,20	0,50-0,80	0,15-0,35	-	0,25-0,40	0,035	0,035	0,010-0,030	-	21,0	47,6	0,23	12,5	0,50	7,85	270	450-560	20	55	60	Schimbătoare de căldură și conducte energetice utilizate până la 450…530 ºC, în regim de lungă durată.
14 MoCr 10	0,10-0,18	0,40-0,70	0,15-0,35	0,70-1,10	0,40-0,55	0,035	0,035	0,015-0,045	-	21,0	44,2	0,28	12,5	0,50	7,85	290	450-580	20	55	60	Idem ca mai sus, dar până la temperaturi de 470…560 ºC.
12 MoCr 22	0,08-0,15	0,40-0,70	0,15-0,50	2,00-2,50	0,90-1,10	0,035	0,035	0,015-0,045	-	20,9	37,2	0,34	12,0	0,50	7,82	280	450-600	20	50	60	Părți ala cazanelor energetice și conducte din industriile chimică și petrochimică, utilizate până la 470…590 ºC.

Tabelul 3.29. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
12 MoCr 50	0,08-0,15	0,30-0,60	0,30-0,60	4,00-6,00	0,45-0,65	0,035	0,030	0,015-0,045	-	21,9	31,4	0,33	11,7	0,46	7,80	175	420-550	21	45	60	Părți ale instalațiilor de ardere și cuptoare industriale care lucrează în medii oxidante, cu sulf și hidrogen, până la 600 … 650 ºC.
12 MoCr 90	0,08-0,15	0,30-0,60	0,25-1,00	8,00-10,00	0,90-1,10	0,030	0,030	0,015-0,045	-	21,7	26,7	0,50	11,3	0,46	7,76	390	590-740	20	50	60	Fascicule tubulare pentru instalații chimice și energetice, în medii cu sulf și hidrogen, până la 500 … 700 ºC.
12 VMoCr 10	0,08-0,15	0,40-0,70	0,17-0,37	0,90-1,20	0,25-0,35	0,030	0,030	0,015-0,045	V= 0,15-0,30	21,0	46,5	0,27	12,5	0,50	7,85	255	470-640	21	55	98	Subansambluri ale instalațiilor energetice și tehnologice care lucrează timp îndelungat la presiuni mari, până la 520…560 ºC.
20 VNiMoCr 120	0,17-0,23	0,30-0,80	0,10-0,50	10,0-12,50	0,80-1,20	0,030	0.030	-	V= 0,25-0,35 Ni= 0,30-0,80	21,3	24,4	0,66	10,8	0,49	7,85	490	690-840	17	40	60	Idem ca mai sus, până la temperaturi de 540 … 600 ºC.
c) Oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi scăzute (STAS 10382-88)																					
OLT 35 R	max 0,16	min. 0,40.	0,15-0,35	-	-	0,035	0,035	0,020-0,060	-							225	340-440	26		60	Instalații care funcționează până la -50 ºC în industriile chimică și alimentară.
OLT 45 R	max 0,23	min.. 0,45	0,15-0,35	-	-	0,035	0,035	0,020-0,060	-							255	440-540	21		60	Idem ca mai sus și presiuni mai mari
10 Ni 35	max 0,12	0,30-0,60	0,15-0,35	-	-	0,035	0,035	0,020-0,060	Ni= 3,20-3,80							345	440-640	20		60	Instalații care funcționează până la -120 ºC, recipiente sub presiune și schimbătoare de căldură.
d) Oțeluri pentru țevi fără sudură, destinate industriei petroliere (STAS 8185-88 *1/90*)																					
OLT 35, OLT 45, OLT 65	Compozițiile chimice și caracteristicile mecanice sunt prezentate la începutul tabelului																				Fabricarea produselor tubulare ale utilajelor petroliere și de gaze naturale (prăjini de foraj, burlane pentru tubaj, țevi de extracție, prăjini grele, conducte petroliere) și ale echipamentelor pentru prospecțiuni (prăjini și burlane pentru foraje cu sondeze).
15 VMn 11	0,10-0,16	0,90-1,20	0,17-0,37	-	-	0,035	0,035	-	V= 0,10-0,20							350	450	16			
20 VMn 12	0,15-0,22	1,00-1,30	0,17-0,37	-	-	0,035	0,035	-	V= 0,10-0,20							410	610	14			

Tabelul 3.29. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
31 VMn 12	0,23-0,34	1,10-140	0,17-0,37	-	-	0,035	0,035	-	V= 0,10-0,20							610	780	12			Fabricarea produselor tubulare ale utilajelor petroliere și de gaze naturale (prăjini de foraj, burlane pentru tubaj, țevi de extracție, prăjini grele, conducte petroliere) și ale echipamentelor pentru prospecțiuni (prăjini și burlane pentru foraje cu sondeze).
35 Mn 14	0,32-0,38	1,30-1,60	0,17-0,37			0,035	0,035	-	V= 0,10-0,20							530	720	16			
43 MoMn 16	0,40-0,46	1,40-1,70	0,17-0,37	-	min 0,16	0,035	0,035	-	-							550	700	15		60	Fabricarea produselor tubulare ale utilajelor petroliere și de gaze naturale (prăjini de foraj, burlane pentru tubaj, țevi de extracție, prăjini grele, conducte petroliere) și ale echipamentelor pentru prospecțiuni (prăjini și burlane pentru foraje cu sondeze).
33 MoCr 11	0,30-0,37	0,40-0,80	0,17-0,37	0,90-1,30	0,15-0,30	0,035	0,035	-	-							690	880	12		80	
41 MoCr 11	0,38-0,45	0,40-0,80	0,17-0,37	0,90-1,30	0,15-0,30	0,035	0,035	-	-							740	930	11		80	
40 VMoMnCr 7	0,36-0,44	0,90-1,20	0,17-0,37	0,55-0,95	0,25-0,70	0,035	0,035	-	V= 0,15-0,25							690	780	12		60	
34 MoCrNi 15	0,30-0,38	0,40-0,70	0,17-0,37	1,40-1,70	0,15-0,25	0,035	0,035	-	Ni= 1,40-1,70							880	108 0	11		80	
35 VMoMn 14	0,32-0,38	1,30-1,60	0,17-0,37	-	0,25-0,40	0,035	0,035	-	V= 0,10-0,20							860	930	11			

Observații: E – modulul de elasticitate; λ – conductibilitatea termică; ρ_1 – rezistivitatea electrică; α – coeficient de dilatare liniară; c_p – capacitatea termică masică (căldura specifică); ρ_2 – masa volumică (densitatea).

Tabelul 3.30. **Oțeluri pentru table de cazane şi recipiente sub presiune**

Marca oțelului	Compoziția chimică, %									Caracteristici mecanice şi tehnologice				
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Al	Alte elemente	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	R_m [N/mm^2]	A [%]	KV [J]	Îndoire la rece, la 180°, pe dorn cu diametrul *d*, [mm]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
a) Oțeluri pentru table de recipiente sub presiune pentru temperaturi ambiantă şi scăzută (STAS 2883/2-91)														
R 360	max 0,17	0,30-0,80	0,17-0,40	0,035	0,040	-	-	-	-	225	360-440	24		$d \leq 16$ 1 *a* $d > 16$ 1,5 *a*
R 430	max 0,20	0,80-1,10	0,17-0,45	0,035	0,040	-	-	-	Ti≤ 0,05	275	430-540	23		$d \leq 16$ 2 *a* $d > 16$ 2,5 *a*
R 510	max 0,18	1,10-1,60	0,17-0,45	0,035	0,040	-	-	-	V≤ 0,05	340	510-610	22		$d \leq 16$ 2,5 *a* $d > 16$ 3 *a*
b) Oțeluri pentru table de cazane şi recipiente sub presiune pentru temperaturi ambiantă şi ridicată (STAS 2883/3-88)														
K 410	max 0,20	0,50-1,30	max 0,35	0,035	0,030	-	-	0,020-0,035	-	255	410-530	22	27	$d = 2$ *a*
K 460	0,12-0,20	0,90-1,40	max 0,40	0,035	0,030	-	-	0,020-0,035	-	285	460-580	21	27	$d = 3$ *a*
K 510	0,15-0,22	1,00-1,60	0,30-0,60	0,035	0,030	-	-	0,020-0,035	-	345	510-650	20	27	$d = 3,5$ *a*
16 Mo 3	0,12-0,20	0,50-0,80	0,15-0,35	0,035	0,030	-	0,25-0,40	0,010-0,030	-	270	440-590	20	27	$d = 3$ *a*
16 Mo 5	0,12-0,20	0,50-0,80	0,15-0,30	0,035	0,035	-	0,45-0,65	0,010-0,030	-	265	440-540	18	31	$d = 3$ *a*
14 MoCr 10	0,10-0,18	0,40-0,70	0,15-0,35	0,035	0,030	0,70-1,10	0,40-0,60	0,015-0,035	-	295	440-590	20	31	$d = 3$ *a*
12 MoCr 22	0,08-0,15	0,40-0,70	0,15-0,50	0,035	0,030	2,00-2,50	0,90-1,10	0,015-0,035	-	300	480-630	18	31	$d = 3,5$ *a*

Tabelul 3.30. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
12 MoCr 50	0,08-0,15	0,30-0,50	0,15-0,50	0,035	0,030	4,00-6,00	0,45-0,65	0,015-0,035	-	310	515-690	17	31	
12 VMoCr 10	0,08-0,15	0,40-0,70	0,17-0,37	0,035	0,025	0,90-1,20	0,25-0,35	0,015-0,035	V= 0,015-0,035	255	470-640	21		
c) Oțeluri pentru table groase cu condiții speciale de calitate pentru recipiente sub presiune (STAS 11502-89)														
9 SiMn 16	max 0,12	1,30-1,70	0,50-0,80	0,035	0,040	-	-	min 0,015	Ni≤0,30	305	460	21		$d = 2a$
16 SiMn 10	max 0,18	0,90-1,20	0,40-0,70	0,035	0,040	-	-	min 0,015	Ni≤0,30	295	470	21		$d = 2a$
10 Ni 35	max 0,10	0,30-0,60	0,10-0,35	0,025	0,025	-	-	max 0,060	Ni= 3,20-3,80	350	440-640	20	28	$d = 3a$
RV 510	max 0,18	1,10-1,60	0,17-0,45	0,020	0,020	-	-	min 0,015	Ni≤0,30 V≤0,05	350	510-610	20	27	$d = 3a$

Observații: a – grosimea tablei, mm; $R_{p0,2}$ este dată pentru table cu a = 16 … 40 mm; R_m şi A sunt date pentru table cu grosimea $a \leq 60$ mm.

Tabelul 3.31. **Oțeluri pentru sârme de sudare**

Marca oțelului	Compoziția chimică, %									Domenii de utilizare
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	V	Mo	Alte elem.	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S10	max 0,10	0,40-0,60	max 0,030	max 0,20	max 0,30	-	0,030	0,030	-	Electrozi pentru sudarea oțelurilor-carbon şi slab aliate şi pentru sudarea sub strat de flux.
S10Mn1	max 0,10	0,80-1,20	max 0,15	max 0,20	max 0,30	-	0,030	0,030	-	Sudarea sub strat de flux a oțelurilor nealiate, exploatate până la -20 ºC.
S10Mn1,5	0,07-0,11	1,45-1,65	max 0,20	max 0,15	max 0,20	max 0,15	0,030	0,030	-	Sudarea sub strat de flux a oțelurilor slab aliate cu mangan.
S12Mn2	max 0,12	1,80-2,20	max 0,15	max 0,20	max 0,30	-	0,030	0,030	-	Sudarea în baie de zgură a oțelurilor-carbon şi slab aliate, cu $R_{p0,2}$ şi R_m ridicate
S12Mn2Si	max 0,12	1,80-2,20	0,60-0,90	max 0,20	max 0,30	-	0,030	0,030	Al ≤ 0,05	Sudarea în mediu de gaze protectoare a oțelurilor cu granulație fină, exploatate până la – 20 ºC.
S07Mn1,4Si	0,05-0,11	1,40-1,60	0,65-0,85	max 0,20	max 0,30	-	0,020	0,015	-	Sudarea în mediu de gaze protectoare a oțelurilor-carbon şi slab aliate, cu Rm ridicată, exploatate până la -20 ºC.
S10Mo	max 0,10	0,40-0,70	max 0,15	max 0,20	max 0,30	0,40-0,60	0,030	0,030	-	Sudarea sub strat de flux a oțelurilor slab aliate pentru cazane şi recipiente sub presiune, exploatate la temperatură negativă, ambiantă şi ridicată (450ºC).
S12MoCr1	max 0,12	0,40-0,80	max 0,30	0,80-1,20	max 0,30	0,40-0,60	0,030	0,030	-	Sudarea sub strat de flux a oțelurilor pentru industria aeronautică şi termorezistente pentru țevi.
S22MoCr1	0,15-0,22	0,40-0,70	0,12-0,35	0,80-1,10	max 0,30	0,15-0,30	0,030	0,030	-	Încărcarea cu sudură a pieselor uzate şi sudarea oțelurilor aliate cu crom, mangan şi siliciu, cu R_m ridicată.
S12SiMoCr1	max 0,12	0,40-0,80	0,40-0,70	0,80-1,20	max 0,30	0,40-0,60	0,030	0,030	-	Încărcarea cu sudură şi sudarea în mediu de gaze protectoare a oțelurilor pentru cazane şi recipiente sub presiune, exploatate până la 450 ºC.
S10VMoCr1	max 0,10	0,40-0,80	max 0,15	0,80-1,20	max 0,25	0,40-0,60	0,030	0,030	V= 0,05-0,15	Sudarea sub strat de flux a oțelurilor termorezistente
S10Mn1V MoCr1	0,06-0,10	0,80-1,20	max 0,35	0,90-1,20	max 0,25	0,50-0,70	0,025	0,025	V= 0,15-0,30	
S12Mn2Mo	max 0,12	1,80-2,20	max 0,15	max 0,20	max 0,30	0,40-0,60	0,030	0,030	-	Sudarea sub strat de flux şi în baie de zgură a oțelurilor-carbon şi slab aliate cu $R_{p0,2}$ şi R_m ridicate.
S10Mn1Mo	max 0,10	0,80-1,20	max 0,15	max 0,20	max 0,30	0,40-0,60	0,030	0,030	-	Sudarea sub strat de flux şi în baie de zgură a oțelurilor slab aliate pentru cazane şi recipiente sub presiune, exploatate până la 450 ºC.
S10Mn1Mo Cr1	max 0,10	0,80-1,20	max 0,35	0,80-1,20	max 0,30	0,40-0,60	0,030	0,030	-	Sudarea sub strat de flux a oțelurilor pentru țevi, exploatate până la 530 ºC şi în mediu de hidrogen.
S10Mn1Si MoCr1	max 0,10	1,10-1,50	0,45-0,70	0,80-1,20	max 0,30	0,40-0,60	0,030	0,030	-	
S12Mn1Si Ni1Ti	max 0,12	1,40-1,70	0,60-0,90	max 0,15	0,90-1,20	-	0,030	0,020	Ti≤ 0,15	Sudarea în mediu de gaze protectoare a oțelurilor cu granulație fină şi pentru construcții navale cu $R_{p0,2}$ ridicată.
S10Mn1Si NiCu	max 0,10	1,10-1,40	0,65-0,75	max 0,30	0,50-0,60	-	0,030	0,020	Cu= 0,40-0,50	Sudarea în mediu de gaze protectoare a oțelurilor rezistente la coroziune atmosferică.

Tabelul 3.31 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S10Mn1SiV MoCr1	max 0,10	1,00-1,40	0,60-0,80	0,80-1,20	max 0,25	0,40-0,60	0,030	0,030	V= 0,05-0,15	Sudarea în mediu de gaze protectoare a oțelurilor termorezistente.
S10Mn1Ni1	max 0,10	0,80-1,20	max 0,15	max 0,20	0,90-1,20	-	0,030	0,020	-	Sudarea sub strat de flux a oțelurilor cu granulație fină și pentru construcții navale, exploatate la temperaturi negative și cu $R_{p0,2}$ ridicată.
S10Mn1 NiCu	max 0,10	0,80-1,20	max 0,25	max 0,30	0,50-0,60	-	0,030	0,020	Cu= 0,40-0,60	Sudarea sub strat de flux a oțelurilor rezistente la coroziunea atmosferică.
S10Mn1Ni2	max 0,10	1,00-1,30	max 0,15	max 0,20	2,20-2,50	-	0,025	0,025	-	Sudarea sub strat de flux a oțelurilor slab aliate pentru cazane și recipiente sub presiune, exploatate până la -50ºC.
S80Cr	0,70-0,80	0,60-0,90	max 0,40	0,70-1,00	max 0,25	-	0,030	0,030	-	Încărcarea cu sudură a pieselor cu uzură mare din industria minieră.
S40CrMn1 Si1	0,30-0,40	0,80-1,20	0,90-1,20	0,80-1,20	max 0,25	-	0,030	0,030	-	Încărcarea cu sudură în mediu de gaze protectoare a pieselor uzate, exploatate la temperaturi ridicate.
S12Mn1,5 Ni1,5Mo	max 0,12	1,30-1,70	0,10-0,30	max 0,30	1,40-1,70	0,35-0,60	0,015	0,015	-	Sudarea sub strat de flux a oțelurilor cu granulație fină, exploatate la tempera-turi ridicate.
S32MoCr6	0,24-0,32	0,40-0,80	max 0,35	5,50-6,50	max 0,25	0,40-0,60	0,030	0,030	-	Încărcarea cu sudură a pieselor uzate din industriile chimică și petrochimică, exploatate la temperaturi ridicate.
S55MoCr6	0,45-0,55	0,40-0,80	max 0,35	5,50-6,50	max 0,25	0,40-0,60	0,030	0,030	-	Încărcarea cu sudură a pieselor supuse la uzură abrazivă din industriile metalurgică și minieră.
S10Mn1 SiMo	max 0,10	0,80-1,20	0,60-0,90	max 0,20	max 0,30	0,40-0,60	0,030	0,030	-	Sudarea în mediu de gaze protectoare a oțelurilor termorezistente.
S10MnSi Mo1Cr2,5	max 0,10	0,80-1,20	0,60-0,90	2,30-2,80	max 0,30	0,90-1,20	0,030	0,030	-	
S10Mn1Mo1 Cr2,5	max 0,10	0,80-1,20	max 0,35	2,30-2,80	max 0,30	0,90-1,20	0,030	0,030	-	
S28Mn1Cr12 Mo1VW0,5	0,20-0,28	0,40-2,00	0,05-0,40	11,0-13,0	max 1,00	0,80-1,20	0,025	0,025	V= 0,25-0,40 W= 0,40-0,70	Sudarea oțelurilor inoxidabile cu 12 % Cr.
S12Mo1Cr17	max 0,12	max 0,90	max 0,80	15,0-18,0	max 0,60	0,90-1,10	0,030	0,020	-	Sudarea în mediu de gaze protectoare a oțelurilor inoxidabile solicitate mecanic și exploatate până la 450 … 600 ºC.
S12Cr26 Ni20	max 0,12	1,50-2,00	max 0,80	25,0-27,0	19,5-21,0	-	0,025	0,025	Cu≤ 0,30	Sudarea în mediu de gaze protectoare a oțelurilor inoxidabile.
S14Cr25 Ni20	max 0,14	max 2,00	max 2,00	23,0-27,0	18,0-25,0	-	0,040	0,035	Cu≤ 0,30	Sudarea oțelurilor rezistente la coroziune și refractare.
S10Cr18Ni9	max 0,10	max 2,00	max 1,00	17,0-19,0	8,0-10,0	-	0,030	0,030	Cu≤ 0,30	Sudarea oțelurilor inoxidabile.
S03Cr19 Ni12Mo2Nb	max 0,03	1,00-1,70	0,20-0,70	18,0-19,0	11,0-13,0	2,00-3,00	0,025	0,015	Nb= 12x% C	

Tabelul 3.32. **Oțeluri pentru supape**

Marca oțelului	Compoziția chimică, %									Caracteristici fizice					Caracteristici mecanice						Tratamentul termic
	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	Alte elemente	ρ [kg/dm³]	α [10⁻⁶·K⁻¹]	λ [W/m·K]	c_p [J/g·K]	E [kN/mm²]	$R_{p0,2}$ [N/mm²]	R_m [N/mm²]	A [%]	Z [%]	Duritate HB	Duritate HRC	
a) Oțeluri martensitice (pentru supape de admisie şi tija supapelor de evacuare)																					
X45CrSi 9-3	0,40-0,50	2,70-3,30	max 0,60	0,040	0,030	8,00-10,00		max 0,50		7,7	11,8	21	500	210	700	900-1100	14	40	266-325	-	QT
X40CrSiMo 10-2	0,35-0,45	2,00-3,00	max 0,80	0,040	0,030	9,50-11,50	0,20-0,30	max 0,50		7,7	11,8	21	500	210	700	900-1100	14	40	266-325	-	QT
X85CrMoV 18-2	0,80-0,90	max 1,00	max 1,50	0,040	0,030	16,5-18,50	2,00-2,50		V=0,30 - 0,60	7,7	11,8	21	500	210	800	1000-1200	7	12	266-325	-	QT
b) Oțeluri austenitice (pentru supape de evacuare)																					
X 55 CrMnNiN 20-8	0,50-0,60	max 0,25	7,00-10,00	0,045	0,030	19,5-21,50	-	1,50-2,75	N=0,20 – 0,40	7,8	18,8	14,5	500	205	550	900-1150	8	10	-	28	AT+P
X 53 CrMnNiN 21-9	0,48-0,58	max 0,25	8,00-10,00	0,045	0,030	20,0-22,00	-	3,25-4,50	N=0,35 – 0,50	7,8	18,8	14,5	500	205	580	950-1200	8	10	-	30	AT+P
X 50CrMnNiNbN 21-9	0,45-0,55	max 0,45	8,00-10,00	0,045	0,030	20,0-22,00	-	3,50-5,50	W=0,80-1,50; Nb+Ta=1,8-2,5; N=0,4-0,6	7,8	18,8	14,5	500	205	580	950-1150	12	15	-	30	AT+P
X 53CrMnNiNbN 21-9	0,48-0,58	max 0,25	8,00-10,00	0,045	0,030	20,0-22,00	-	3,25-4,50	Nb+ Ta=2,0-3,0; N=0,38-0,50; C+N>0,90	7,8	18,8	14,5	500	205	580	950-1150	8	10	-	30	AT+P
X 33 CrNiMnN 23-8	0,28-0,38	0,50-1,00	1,50-3,50	0,045	0,030	22,0-24,00	max 0,50	7,00-9,00	W ≤ 0,50 N = 0,25 – 0,35	7,8	17,4	14,5	500	205	550	850-1100	20	30	-	25	AT+P
c) Aliaje austenitice (pentru supape de evacuare)																					
NiFe25Cr20NbTi	0,04-0,10	max 1,00	max 1,00	0,030	0,015	18,0-21,00		rest	Al=0,3-1; Fe=23-28; Nb+Ta=1-2; Ti=1 - 2	8,1	16,8	13	460	215	500	900-1100	25	30	-	28	AT+P
NiCr20TiAl	0,04-0,10	max 1,00	max 1,00	0,020	0,015	18,0-21,00		min 65,00	Fe≤3,0; Cu≤0,20; Co≤2,0; B≤0,008; Al=1-1,8; Ti=1,8-2,7	8,3	14,5	13	460	215	725	1100-1400	15	25	-	32	AT+P

Observații: α – coeficient de dilatare termică între 20 ºC şi 700 ºC; λ – conductibilitate termică la 20 ºC; c_p – capacitatea termică specifică la 20 ºC; *QT* – călire şi revenire; *AT* – recoacere de punere în soluție; *P* – durificare prin precipitare.

3.4.3.7. Oțeluri pentru organe de asamblare. Organele de asamblare se caracterizează, din punct de vedere constructiv, prin existența unor concentratoare de eforturi, cum este filetul, care influențează decisiv comportarea lor în condiții de solicitări variabile.Ca urmare, oțelurile pentru organele de asamblare trebuie să aibă proprietăți mecanice bune şi îndeosebi o plasticitate ridicată. Acestea se realizează prin aliere cu mangan, bor, crom şi titan, dar şi prin tratamente termice corespunzătoare. Ele sunt destinate fabricării şuruburilor, prezoanelor, piulițelor, niturilor, ştifturilor, cuielor spintecate, penelor etc.

Există oțeluri-carbon şi oțeluri aliate pentru organe asamblare. Simbolizarea lor se face conform standardelor acestor mărci de oțeluri, cu adăugarea literei *q*, care reprezintă ansamblul de condiții impuse oțelurilor respective sau a literelor *AS* (prescurtarea cuvântului *asamblare*).

Clasificarea detaliată a mărcilor de oțeluri pentru organe de asamblare este prezentată în tabelul 3.33.

3.4.3.8. Oțeluri pentru autovehicule şi tractoare. Din această categorie fac parte oțeluri-carbon superioare şi oțeluri aliate superioare, prelucrate prin deformare plastică la cald sau la rece sub formă de țagle sau bare şi utilizate la fabricarea diverselor piese şi subansambluri pentru autovehicule şi tractoare.

Notarea acestor oțeluri se face similar cu a oțelurilor-carbon de calitate şi a oțelurilor aliate pentru construcții de maşini, la sfârşit adăugându-se literele *AT* (prescurtări de la *autovehicule* şi *tractoare*). În tabelul 3.34 se prezintă mărcile standardizate în România (STAS 8580-88).

3.4.3.9. Oțeluri pentru autoturisme. Oțelurile pentru autoturisme sunt oțeluri-carbon superioare şi aliate, prelucrate prin deformare plastică la cald sau la rece (laminare, forjare sau tragere) şi utilizate în stare tratată termic sau termochimic la construcția diverselor piese pentru autoturisme. Ele au fost asimilate după diverse licențe franceze, îndeosebi pentru fabricare autoturismelor *Dacia.*

Simbolizarea acestor oțeluri (STAS 11500/1-90 şi STAS 11500/2-89) se face similar cu cea a oțelurilor-carbon superioare şi aliate.

Tot din această categorie fac parte şi tablele şi benzile de oțel laminate la rece pentru caroserii auto (STAS 10318-80), cu conținut mic de carbon, utilizate la fabricarea caroseriilor de autoturisme prin ambutisare adâncă. Notarea lor se face prin litera *A* (prescurtare de la *autoturism*), urmată de o cifră care indică aspectul suprafeței (*3* - suprafață curată, fără oxizi, albă sau mată; se admit pori, zgârieturi şi imprimări uşoare de laminare; *4* - suprafață curată, fără zgârieturi, fără pori, albă sau mată; se admit urme uşoare de laminare).

În tabelul 3.35 se prezintă oțelurile pentru autoturisme.

3.4.3.10. Oțeluri pentru lanțuri. Din această categorie fac parte oțelurile-carbon şi aliate, livrate sub formă de sârme sau bare rotunde şi destinate confecționării lanțurilor industriale, miniere şi navale.

Notarea oțelurilor destinate fabricării lanțurilor industriale şi miniere se face similar cu a oțelurilor-carbon obişnuite şi de calitate sau a oțelurilor aliate, iar la

Tabelul 3.33. **Oțeluri pentru organe de asamblare**

Marca oțelului	Compoziția chimică, %												Caracteristici mecanice					Tratam. termic
	C	Mn	Si	P max.	S max.	Cr	Ni	Mo	Cu	B	Ti	Alte elemente	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	R_m [N/mm^2]	A [%]	Z [%]	KCU [J/cm^2]	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
a) Oțeluri-carbon obișnuite destinate fabricării organelor de asamblare prin deformare plastică la rece (STAS 9382/2-89)																		
OL 34 q	max 0,15	0,20-0,55	max 0,07	0,050	0,050	-	-	-	-	-	-	-		420	9	58		
OL 37 q	0,10-0,17	0,25-0,45	max 0,07	0,040	0,040	max 0,20	max 0,20	-	max 0,20	-	-	N= 0,007		470	8	59		
RCB 52 q	max 0,18	max 1,15	max 0,60	0,040	0,040	0,50-0,80	-	-	0,30-0,60	-	-	Al ≥ 0,025 N ≤ 0,015 V ≤ 0,12		630		48		
b) Oțeluri de cementare destinate fabricării organelor de asamblare prin deformare plastică la rece (STAS 9382/3-89)																		
OLC 10 q	0,07-0,14	0,35-0,65	0,17-0,37	0,045	0,040	-	-	-	-	-	-	Al=0,015-0,045	390	640-790	13			Cr
OLC 15 q	0,12-0,18	0,35-0,65	0,17-0,37	0,045	0,040	-	-	-	-	-	-	Al=0,015-0,045	330	590-780	14	45		Cr
15 Cr 9 q	0,12-0,18	0,40-0,70	0,17-0,37	0,035	0,035	0,70-1,00	-	-	-	-	-	Al=0,015-0,045	495	min 685	12	45	69	Cr
18 MnCr 11 q	0,15-0,21	0,90-1,20	0,17-0,57	0,035	0,035	0,90-1,20	-	-	-	-	-	Al=0,015-0,045	735	min 880	10	40		Cr
17MoCrNi14q	0,14-0,20	0,60-0,90	0,17-0,57	0,035	0,035	0,85-1,15	1,20-1,60	0,15-0,25	-	-	-	Al=0,015-0,045	850	1200-1550	8	-	50	Cr
13 CrNi 30 q	0,09-0,16	0,30-0,60	0,17-0,57	0,035	0,035	0,60-0,90	2,75-3,15	-	-	-	-	Al=0,015-0,045	690	min 930	11	55	-	Cr
21 MoMnCr 12 q	0,18-0,24	0,80-1,20	0,17-0,57	0,035	0,035	1,00-1,40	-	0,20-0,30	-	-	-	Al=0,015-0,045	830	min 1080	8	40	68	Cr

Tabelul 3.33. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
c) Oțeluri de îmbunătățire destinate fabricării organelor de asamblare prin deformare plastică la rece (STAS 9382/4-89)																		
OLC 25 q	0,22-0,29	0,40-0,70	0,17-0,37	0,035	0,035	-	-	-	-	-	-	-	320	500-650	21	50	98	CR
OLC 35 q	0,32-0,39	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	-	-	-	-	-	-	-	370	600-750	19	45	69	CR
OLC 45 q	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	-	-	-	-	-	-	-	440	660-800	16	40	59	CR
OLC 22B q	0,19-0,25	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	-	-	-	-	0,0008-0,005	0,01-0,04	Al=0,015-0,045	400	550-700	18			CR
19 BMn 10 q	0,15-0,23	0,80-1,20	max 0,25	0,035	0,035	-	-	-	-	0,002-0,005	0,01-0,04	Al=0,015-0,045	500	650-800	16			CR
20 BMn 13 q	0,17-0,23	1,10-1,40	0,15-0,40	0,035	0,035	-	-	-	-	0,003-0,005	0,01-0,04	Al=0,015-0,045	540	640-830	16			CR
36 BMn 11 q	0,34-0,40	0,34-0,40	0,90-1,20	0,035	0,035	-	-	-	-	0,003-0,005	0,01-0,04	Al=0,015-0,045	640	800-980	12		60	CR
20 BCrMn 13 q	0,17-0,23	1,10-1,40	0,10-0,40	0,035	0,035	0,20-0,45	-	-	-	0,003-0,005	0,01-0,04	Al=0,015-0,045	640	800-980	12		60	CR
36 BCrMn 11 q	0,34-0,40	0,90-1,20	0,17-0,37	0,035	0,035	0,20-0,45	-	-	-	0,003-0,005	0,01-0,04	Al=0,015-0,045	1100	1200-1400	8		30	CR
40 Cr 10 q	0,36-0,44	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	0,80-1,10	-	-	-	-	-	Al=0,015-0,045	670	880-1080	11	45	69	CR
40 BCr 10 q	0,36-0,44	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	0,80-1,10	-	-	-	0,001-0,003	-	Al=0,015-0,045	690	830-930	13	45	78	CR
40 CrNi 12 q	0,36-0,44	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	0,45-0,75	1,00-1,40	-	-	-	-	Al=0,015-0,045	780	900-1080	12		78	CR
34 MoCr 11 q	0,30-0,37	0,60-0,90	0,17-0,37	0,035	0,035	0,90-1,20	-	0,15-0,30	-	-	-	Al=0,015-0,045	650	900-1100	12	50	78	CR

Tabelul 3.33. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
42 MoCr 11 q	0,38-0,45	0,60-0,90	0,17-0,37	0,035	0,035	0,90-1,20	-	0,15-0,30	-	-	-	Al=0,015-0,045	750	1000-1200	11	45	69	CR
34 MoCrNi 16q	0,30-0,38	0,40-0,70	0,17-0,37	0,035	0,035	1,40-1,70	1,40-1,70	0,15-0,30	-	-	-	Al=0,015-0,045	900	1100-1300	10	45	65	CR
30 MoCrNi 20q	0,26-0,34	0,30-0,60	0,17-0,37	0,035	0,035	1,,80-2,20	1,80-2,20	0,30-0,50	-	-	-	Al=0,015-0,045	1050	1250-1450	9	40	59	CR
d) Oțeluri destinate fabricării organelor de asamblare prin deformare plastică la cald (STAS 8949-82)																		
OL 37 q	max 0,20	max 0,80	max 0,07	0,060	0,060	max 0,30	max 0,30	-	max 0,20	-	-	-	240	360-440	25		69	
RCB 52 q	max 0,18	max 1,15	max 0,60	0,040	0,040	0,50-0,80	-	-	0,30-0,60	-	-	Al≥0,025 V≤0,12	350	510-610	22		69	
OLC 15 q	0,12-0,18	0,35-0,65	0,17-0,37	0,045	0,045	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	-	-	Al≥0,02	350	590-780	14			Cr
OLC 35 q	0,32-0,39	0,50-0,80	0,17-0,37	0,040	0,040	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	-	-	-	420	620-760	17		69	CR
OLC 45 q	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	0,040	0,040	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	-	-	-	480	700-840	14		59	CR
18 MoCr 10 q	0,15-0,22	0,90-1,20	0,17-0,37	0,035	0,035	0,90-1,20	max 0,30	-	max 0,30	-	-	-	540	790-1080	10		69	Cr
18 MoCrNi 13q	0,15-0,24	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	0,80-1,10	1,20-1,50	0,15-0,30	max 0,30	-	-	-	690	930-1220	9		78	Cr
21 MoMnCr 12 q	0,18-0,24	0,80-1,20	0,17-0,37	0,035	0,035	1,00-1,40	max 0,30	0,20-0,30	max 0,30	-	-	-	740	980-1270	10		59	Cr
21 TiMnCr 12 q	max 0,20	0,80-1,10	0,17-0,37	0,035	0,035	1,10-1,30	max 0,30	-	max 0,30	-	0,04-0,10	-	780	1030-1320	9		69	Cr
40 Cr 10 q	0,36-0,44	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	0,80-1,10	max 0,30	-	max 0,30	-	-	-	790	980-1180	10		39	CR

Tabelul 3.33. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
40 BCr 10 q	0,36-0,44	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	0,80-1,10	max 0,30	-	max 0,30	0,001-0,003	-	-	740	880-1080	11		69	CR
41 MoCr 11 q	0,38-0,45	0,40-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	0,90-1,30	-	0,15-0,30	max 0,30	-	-	-	880	1080-1270	10		59	CR
34 MoCrNi 15q	0,30-0,38	0,40-0,70	0,17-0,37	0,035	0,035	1,80-2,10	1,80-2,10	0,25-0,35	max 0,30	-	-	-	980	1180-1370	9		59	CR
e) Oţeluri destinate fabricării organelor de asamblare rezistente la temperaturi scăzute şi ridicate (STAS 11290-89)																		
OLC 25 AS	0,22-0,29	0,40-0,70	0,17-0,37	0,035	0,035	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	-	max 0,02	Al=0,020-0,045	260	440	20	40		CR
OLC 35 AS	0,32-0,39	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	-	max 0,02	Al=0,020-0,045	300	510	19	35		CR
OLC 45 AS	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	-	max 0,02	Al=0,020-0,045	350	590	18	30		CR
34 MoCr 11 AS	0,30-0,37	0,60-0,90	0,17-0,37	0,035	0,035	0,90-1,20	max 0,30	0,15-0,30	max 0,30	-	max 0,02	Al=0,020-0,045	540	740	14	45		CR
42 MoCr 11 AS	0,38-0,45	0,60-0,90	0,17-0,37	0,035	0,035	0,90-1,20	max 0,30	0,15-0,30	max 0,30	-	max 0,02	Al=0,020-0,045	590	780	14	45		CR
10 Ni 35 AS	max 0,12	0,30-0,60	0,15-0,35	0,035	0,035	max 0,30	3,20-3,80	-	max 0,30	-	max 0,02	Al=0,020-0,060	340	470	20	50		CR
13 CrNi 30 AS	0,09-0,16	0,30-0,60	0,17-0,37	0,030	0,030	0,60-0,90	2,75-3,15	-	max 0,30	-	max 0,02	Al=0,020-0,045	440	590	14	45		CR
21 VMoCr 14 AS	0,17-0,25	0,35-0,85	0,17-0,37	0,030	0,035	1,20-1,50	max 0,30	0,65-0,80	max 0,30	-	max 0,02	Al≤0,040	550	700	16	60		CR
40 VMoCr 11 AS	0,36-0,44	0,35-0,85	0,17-0,37	0,030	0,035	0,90-1,20	max 0,30	0,60-0,75	max 0,30	-	max 0,02	Al≤0,040	720	860	17	50		CR

Observaţii: C – călire; *r* – revenire joasă; *R* – revenire înaltă.

Tabelul 3.34. **Oțeluri pentru autovehicule şi tractoare**

Marca oțelului	Compoziția chimică, %									Caracteristici mecanice							Tratam. termic
	C	Mn	Si	P max.	S max.	Cr	Mo	B	Alte elemente	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	R_m [N/mm^2]	A_5 [%]	KV [J]	KCU [J/cm^2]	Duritate Stare recoaptă	Duritate Stare trasă	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
OLC 15 AT	0,12-0,18	0,35-0,65	0,17-0,37	0,035	0,035	-	-	-	-	225	min. 373	27			149		N
OLC 35 AT	0,32-0,39	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	-	-	-	-	430	630-780	17	50		183		CR
OLC 45 AT	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	-	-	0,001-0,003	-	500	700-900	14	30		207		CR
OLC 50 AT	0,47-0,55	0,60-0,90	0,17-0,37	0,035	0,035	-	-	-	-	520	750-900	13			217		CR
OLC 55 AT	0,52-0,60	0,60-0,90	0,17-0,37	0,035	0,035	-	-	0,001-0,003	-	550	800-1000	12			229		CR
OLC 60 AT	0,57-0,65	0,60-0,90	0,17-0,37	0,035	0,035	-	-	-	-	580	850-1000	11	25		241		CR
15 Cr 9 AT	0,12-0,18	0,40-0,70	0,17-0,37	0,025	0,025	0,70-1,00	-	-	-	495	min. 685	12		69	179	230	Cr
18 MnCr 11 AT	0,15-0,21	0,90-1,20	0,17-0,37	0,025	0,025	0,90-1,20	-	-	-	735	min. 880	10			187	260	Cr
21 MoMnCr 12 AT	0,18-0,24	0,80-1,20	0,17-0,37	0,025	0,025	1,00-1,40	0,20-0,30	-	-	830	min. 1080	8		68	217	265	Cr
17 MoCrNi 14 AT	0,14-0,20	0,60-0,90	0,17-0,37	0,025	0,025	0,85-1,15	0,15-0,25	-	Ni=1,20-1,60	850	1200-1550	8		50	223	265	Cr
20 TiMnCr 12 AT	0,17-0,23	0,80-1,10	0,17-0,37	0,025	0,025	1,00-1,30	-	-	Ti=0,030-0,090	880	min. 980	9		78	217	265	Cr
28 TiMnCr 12 AT	0,24-0,32	0,80-1,10	0,17-0,37	0,025	0,025	1,00-1,30	-	-	Ti=0,030-0,090	1275	min. 1470	9		58	229	275	Cr
40 Cr 10 AT	0,36-0,44	0,50-0,80	0,17-0,37	0,025	0,025	0,80-1,10	-	-	-	780	min. 980	10		58	217	265	CR
40 BCr 10 AT	0,36-0,44	0,50-0,80	0,17-0,37	0,025	0,025	0,80-1,10	-	0,001-0,003	-	735	min. 930	12		88	217	265	CR

Tabelul 3.34. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
34 MoCr 11 AT	0,30-0,37	0,60-0,90	0,17-0,37	0,025	0,025	0,90-1,20	0,15-0,30	-	-	800	1000-1200	11	40		223	265	CR
42 MoCr 11 AT	0,38-0,45	0,60-0,90	0,17-0,37	0,025	0,025	0,90-1,20	0,15-0,30	-	-	900	1100-1300	10	35		241	265	CR
51 VMnCr 11 AT	0,47-0,55	0,70-1,10	0,17-0,37	0,025	0,025	0,90-1,20	0,15-0,30	-	V=0,10-0,20	900	1100-1300	9	35		248	280	CR
34 MoCrNi 16 AT	0,30-0,38	0,40-0,70	0,17-0,37	0,025	0,025	1,40-1,70	0,15-0,30	-	Ni=1,40-1,70	1000	1200-1400	9	40		248	275	CR

Observații: 1 – Conținutul de Al trebuie să fie de 0,020…0,045%; 2 – *KV* – energia de rupere; *C* – călire; *R* – revenire înaltă; *r* – revenire joasă; *N* – normalizare.

Tabelul 3.35. **Oțeluri pentru autoturisme**

Marca oțelului	Compoziția chimică, %									Caracteristici mecanice					Tratam. termic	Domenii de utilizare
	C	Mn	Si	P max.	S	Cr	Mo	Ni	Alte elemente	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	R_m [N/mm^2]	A_5 [%]	KCU [J/cm^2]	Duritatea		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
a) Oțeluri pentru piese de autoturisme (STAS 11500/2-89)																
OLC 38	0,34-0,42	0,50-0,80	0,15-0,40	0,030	0,020-0,040	-	-	-	-	660	805-980	10	80	241-293HB	CR	Carcase demaror.
OLC 38 B	0,34-0,42	0,50-1,00	0,15-0,40	0,030	0,020-0,040	-	-	max 0,30	B≥0,0005	785	880-1130	11	70	264-341HB	CR	Axe braț punți.
OLC 43	0,39-0,47	0,50-0,80	0,15-0,40	0,030	0,020-0,040	-	-	-	-	690	880-1050	9	60	264-310HB	CR	Tacheți motor, corpuri rotule de suspensie, lalele transmisii
37 Cr 5	0,34-0,40	0,60-0,80	0,15-0,40	0,030	0,020-0,040	0,30-0,60	-	-	-	780	880-1130	11	70	264-341HB	CR	Biele motor, capace biele, fuzete
32 Cr 10	0,29-0,35	0,60-0,90	0,15-0,40	0,030	0,020-0,040	0,85-1,15	-	max 0,30	-	1320	1620-1860	5	30	444-495HV	Cr	Prezoane fixare roți, diverse pinioane și axe, capete cremalieră.
37 Cr 10	0,34-0,40	0,60-0,90	0,15-0,40	0,030	0,020-0,040	0,85-1,15	-	max 0,30	-	730	880-1080	11	130	264-325HB	CR	Butuci pentru roți, axe și baladoare pentru cutii de viteze
60 CrMnSi 17 A	0,55-0,65	0,60-1,00	1,50-1,90	0,040	max 0,035	0,25-0,45	-	max 0,30	-	1470	1670-1910	5	25	484-540HV	CR	Arcuri de suspensie, bare antirulin.

Tabelul 3.35. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
13 MoCr 11	0,10-0,16	0,65-0,95	0,15-0,40	0,025	max 0,020	0,90-1,25	0,20-0,30	max 0,30	-	780	1040-1220	7	100	309-363HB	C	Pivoți suspensii, rotule de direcție
17 MoCr 11	0,14-0,20	0,65-0,95	0,15-0,40	0,025	0,020-0,040	0,90-1,25	0,20-0,30	max 0,30	-	920	1245-1470	6,5	80	352-415HB	C	Coroane dințate pentru cutii de viteze, tripode transmisii, pinioane planetare, portfuzete, fuzete roți, cremaliere și pinioanele crema-lierelor
19 MoCr 11	0,16-0,22	0,65-0,95	0,15-0,40	0,025	0,020-0,040	0,90-1,25	0,20-0,30	max 0,30	-	1019	1342-1568	6	70	363-444HB	C	Pinioane de atac pentru cutii de viteze, diverse axe
28 MoCr 11	0,24-0,31	0,65-0,95	0,15-0,40	0,025	0,020-0,040	0,90-1,25	0,20-0,30	max 0,30	-	1225	1520-1715	7	50	430-460HB	Cr	Arbori-lalea din componența transmisiilor
31 MoCr 11	0,27-0,34	0,60-0,85	0,15-0,40	0,025	0,020-0,040	0,90-1,25	0,20-0,30	max 0,30	-	1320	1620-1860	6	40	444-495Hb	Cr	Trenuri pentru cutii de viteze, diverse pinioane și arbori
33 MoCr 11	0,30-0,36	0,60-0,85	0,15-0,40	0,025	0,020-0,040	0,90-1,25	0,20-0,30	max 0,30	-	1420	1710-1960	5,5	40	460-514HV	Cr	Arbori cotiți, diverse pinioane, biele, butuci pentru roți, diverse piese mecanice forjate
34 MoCrNi 40	0,30-0,37	0,30-0,60	0,15-0,40	0,030	max 0,030	1,60-2,00	0,30-0,50	3,70-4,20	-	930	1080-1370	9	60		CR	Supape de admise
b) Oțeluri laminate la rece în table şi benzi pentru caroserii auto																
A 4	0,10	0,50	0,05	0,035	0,035	max 0,03	-	max 0,10	Cu≤0,10		270-370	30		57HB	Rc	Piese obținute prin ambutisare adâncă pentru caroserii auto
A 5	0,08	0,40	0,10	0,025	0,030	max 0,03	-	max 0,10	Cu≤0,10	220	270-340	36		50HB	Rc	Piese obținute prin ambutisare foarte adâncă pentru caroserii auto

Observații: C – călire; *R* – revenire înaltă; *r* – revenire joasă; *Rc* – recoacere.

Tabelul 3.36. **Oțeluri pentru lanțuri**

Marca oțelului	Compoziția chimică %											Caracteristici mecanice						Tratam. termic
	C	Mn	Si	P max.	S max.	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Alte elemente	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	R_m [N/mm^2]	A_5 [%]	Z [%]	KCU [J/cm^2]	HB	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
a) Oțeluri pentru lanțuri industriale																		
OL 37 z	0,12-0,20	0,30-0,80	0,17-0,37	0,035	0,035	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	-	As≤0,05	240	360	25			136	N
OLC 20 z	0,17-0,24	0,30-0,60	0,17-0,37	0,035	0,035	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	0,020-0,050	As≤0,05	350	550	20	40	50	142	CR
21 Mn 14 z	0,18-0,24	1,10-1,60	0,17-0,37	0,035	0,035	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	0,020-0,050	As≤0,05	650	850	10	40	50	207	CR
20 BMn 13 z	0,17-0,23	1,10-1,40	0,17-0,37	0,035	0,035	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	0,020-0,050	As≤0,05 B=0,003-0,005	590	740	15	40	50	207	CR
b) Oțeluri pentru lanțuri miniere																		
22 MnCr 12 z	0,19-0,25	1,10-1,40	0,17-0,37	0,025	0,020	1,00-1,30	max 0,30	max 0,15	max 0,30	0,020-0,050	-	900	1180	10	45	50	210	CR
21 MoMnCr 12 z	0,18-0,24	0,80-1,20	0,17-0,37	0,025	0,020	1,00-1,40	max 0,30	0,20-0,30	max 0,30	0,020-0,060	-	980	1180	10	45	50	235	CR
24 MoCrNiMn 15 z	0,21-0,26	1,10-1,40	0,17-0,37	0,025	0,020	0,40-0,70	0,40-0,70	0,20-0,30	max 0,30	0,020-0,050	-	1300	1500	7	45	50	235	Cr
c) Oțeluri pentru lanțuri navale																		
1 b	0,12-0,20	0,40-0,70	0,15-0,35	0,040	0,040	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	-	As≤0,08	220	400-490	25				
2 a	0,16-0,23	1,20-1,60	0,15-0,35	0,035	0,035	max 0,30	max 0,30	-	max 0,30	min 0,025	As≤0,08	295	490-690	22				
3 a	0,30-0,37	0,40-0,80	0,17-0,37	0,025	0,025	0,90-1,20	max 0,30	0,15-0,30	max 0,30	0,015-0,050	Ti≤0,02	410	min. 690	17	40			CR

Observații: N – normalizare; *C* – călire; *R* – revenire înaltă; *r* – revenire joasă.

sfârşitul simbolului se adaugă litera *z* (prescurtare de la *za* – fiecare dintre ochiurile lanţului). Notarea oţelurilor pentru lanţuri navale se face prin cifre şi litere.

În tabelul 3.36 se prezintă mărcile standardizate de oţeluri pentru lanţuri industriale (STAS 13077/2-91), lanţuri miniere (STAS 13077/3-91) şi lanţuri navale (SR 10607-93).

3.4.3.11. Oţeluri pentru şine de cale ferată. Oţelurile pentru şine de cale ferată sunt oţeluri aliate cu mangan, laminate la cald şi destinate fabricării şinelor grele de cale ferată, cu masa peste 35 kg/m. Ele se notează prin literele *OS* (prescurtare de la *oţeluri pentru şine*), urmate de un număr care reprezintă valoarea rezistenţei medii de rupere la tracţiune, în daN/mm^2 şi de literele *A* sau *B* care le diferenţiază conţinuturile de carbon şi mangan.

În tabelul 3.37 sunt prezentate mărcile standardizate în România (STAS 1900-89).

Tabelul 3.37. **Oţeluri pentru şine de cale ferată**

Marca oţelului	Compoziţia chimică, %					Caracteristici mecanice	
	C	Mn	Si	P max	S max	R_m [N/mm^2]	A_5 [%]
OS 70	0,40-0,60	0,80-1,25	0,05 – 0,35	0,050	0,050	680 … 830	14
OS 90 A	0,60-0,80	0,80 – 1,30	0,10 – 0,50	0,040	0,040	880 … 1030	10
OS 90 B	0,55-0,75	1,30 – 1,70	0,10 – 0,50	0,040	0,040	880 … 1030	10

3.4.4. Oţeluri de scule

3.4.4.1. Generalităţi. Oţelurile de scule se obţin prin deformare plastică (forjare sau laminare) şi sunt oţeluri-carbon sau aliate. Datorită solicitărilor mecanice şi termice deosebite la care sunt supuse în timpul aşchierii, ele trebuie să îndeplinească următoarele condiţii: corpul şi partea de prindere a sculelor trebuie să aibă o bună rezistenţă mecanică în condiţii de solicitări dinamice, o bună preluare şi amortizare a vibraţiilor, precum şi o bună conductibilitate termică; zonele active ale sculelor trebuie să aibă rezistenţă mecanică, duritate, tenacitate şi refractaritate, precum şi conductibilitate termică şi stabilitate termică de valori cât mai mari; pentru o precizie ridicată a aşchierii este important ca valorile coeficienţilor de dilatare termică ai materialelor sculelor, ca şi valorile coeficienţilor de frecare dintre sculă şi material să fie cât mai mici.

Pentru a putea răspunde acestor condiţii, oţelurile de scule au compoziţii foarte diversificate, mergând până la oţeluri înalt aliate, cu peste 30% elemente de aliere, în prezent în România fiind standardizate circa 30 de mărci de oţeluri de scule. Acestea sunt destinate nu numai fabricării sculelor aşchietoare, ci şi sculelor pentru deformare plastică la cald sau la rece a oţelurilor sau aparatelor de măsură şi control (şublere, micrometre, calibre, rigle, cale, şabloane etc.).

În lume, clasificarea oțelurilor de scule se face diferit. Astfel, în America şi în Europa Occidentală criteriul principal de clasificare îl constituie proprietățile de întrebuințare şi elementele chimice dominante, iar în fosta lume comunistă, deci şi în România, clasificarea se face după compoziția chimică. Având în vedere standardele româneşti, vom adopta şi noi ultimul criteriu de clasificare, conform căruia avem oțeluri-carbon de scule,oțeluri aliate de scule şi oțeluri rapide.

3.4.4.2. Oțeluri-carbon de scule. Oțelurile-carbon de scule sunt oțeluri de calitate, laminate la cald, forjate sau trase la rece, cu conținut ridicat de carbon (0,65…1,24%), elaborate de regulă în cuptoare electrice şi caracterizate prin grade mari de puritate, durități superficiale mari şi miezuri tenace. Sunt folosite în special pentru fabricarea sculelor aşchietoare pentru prelucrări la rece.

Notarea mărcilor de oțeluri-carbon de scule se face prin literele *OSC* (*O* de la oțel, *S* de la scule, *C* de la carbon), urmate de un număr care reprezintă conținutul mediu de carbon, în zecimi de procente. În cazul în care conținutul de mangan este ridicat, se adaugă şi litera *M*. În tabelul 3.38 se prezintă mărcile de oțeluri-carbon de scule standardizate în România (STAS 1700-90).

3.4.4.3. Oțeluri aliate de scule. Oțelurile aliate de scule sunt oțeluri aliate cu Cr, Ni, W, V, Mo şi Mn, elemente care micşorează viteza critică de călire şi favorizează formarea unor carburi mai dure decât carbura de fier, mărind astfel rezistența la uzură şi conferind stabilitate proprietăților mecanice la cald. Au tenacitate medie, sunt stabile termic până la 300…350 ºC, au aşchiabilitate foarte bună, dar sunt mai scumpe decât oțelurile-carbon. Se elaborează în cuptoare electrice şi se prelucrează prin deformare plastică la cald (laminare sau forjare).

Având o călibilitate bună, permit executarea de scule cu secțiune mai mare şi cu forme complicate (freze, burghie, alezoare, tarozi, broşe). Astfel de scule au o durabilitate mai mare decât cele din oțeluri-carbon, dar inferioară celor din oțeluri rapide, fiind utilizabile pentru viteze de aşchiere de până la 40 m/min.

Notarea oțelurilor aliate de scule se face prin cifre şi litere. Cifrele din fața simbolului arată conținutul mediu de carbon, în sutimi de procente, fiind urmate de simbolurile chimice ale elementelor de aliere înscrise în ordinea crescătoare a conținutului lor şi de un număr care arată conținutul mediu al ultimului element de aliere, în zecimi de procente.

În tabelul 3.39 este prezentată o clasificare a oțelurilor aliate de scule după proprietăți şi destinație, precum şi compoziția lor chimică şi principalele domenii de utilizare (STAS 3611-88).

3.4.4.4. Oțeluri rapide. Oțelurile rapide sunt oțeluri de scule, aliate îndeosebi cu wolfram, dar şi cu vanadiu, crom, molibden şi uneori cu cobalt, destinate confecționării sculelor pentru viteze mari de aşchiere, de unde le provine şi denumirea. Au duritate la cald, rezistență la uzură şi călibilitate foarte ridicate, sunt stabile termic până la 550…660 ºC, au o aşchiabilitate medie şi o tenacitate scăzută. Deoarece după turnare carburile de W, Cr, V şi Mo sunt grosolane (carburi primare), oțelurile rapide se supun deformării plastice la cald (laminare sau forjare), precum şi unor tratamente termice (recoacere de înmuiere, călire şi revenire înaltă).

Tabelul 3.38. **Oțeluri-carbon pentru scule**

Marca oțelului	Compoziția chimică %						Duritatea		Domenii de utilizare
	C	Mn	Si	P max.	S max.	P + S max.	HB (stare recoaptă)	HRC (după călire în apă)	
OSC 7	0,65-0,74	0,10-0,35	0,15-0,35	0,030	0,025	0,050	207	60	Scule supuse la lovituri şi şocuri, cu tenacitate mare şi duritate suficientă: burghie, matrițe pentru oțeluri moi sau mase plastice, scule de tâmplărie, furci şi unelte agricole, şurubelnițe, vârfuri de centrare pentru maşini-unelte, dălți, foarfece.
OSC 8	0,75-0,84	0,10-0,35	0,15-0,35	0,030	0,025	0,050	207	60	Scule supuse la lovituri, cu tenacitate mare şi duritate mijlocie: burghie pentru metale semidure, poansoane, cuțite pentru lemn, cleşti pentru sârmă, nicovale, dornuri de mână, dălți pentru minerit şi cioplit piatră, scule de debavurat la cald, piese de uzură pentru maşini textile, ace de trasat, foarfece pentru tablă.
OSC 8 M	0,80-0,90	0,35-0,80	0,15-0,35	0,030	0,025	0,050	207	60	Scule ca: pânze de ferăstrău pentru lemn, cuțite de rindea, matrițe pentru injectat mase plastice, sârmă de înaltă rezistență, piese de uzură pentru maşini agricole.
OSC 9	0,85-0,94	0,10-0,35	0,15-0,35	0,030	0,025	0,050	207	60	Scule supuse la lovituri, cu tenacitate mare şi duritate mijlocie: burghie pentru perforatoare, punctatoare, scule pentru prelucrarea lemnului, matrițe de îndreptat, cuțite pentru maşini agricole, sârmă trefilată pentru fabricarea arcurilor.
OSC 10	0,95-1,04	0,10-0,35	0,15-0,35	0,030	0,025	0,050	221	62	Scule care nu sunt supuse la lovituri puternice: burghie de perforat roci dure, scule de aşchiat metale moi, scule pentru tragerea la rece a metalelor, piese pentru maşini textile, răzuitoare textile.
OSC 11	1,05-1,14	0,10-0,35	0,15-0,35	0,030	0,025	0,050	221	62	Scule supuse la lovituri mici: role de prelucrat metale, calibre, ferăstraie mecanice, matrițe pentru ambutisare, scule de aşchiat oțeluri moi, articole de bucătărie, piese pentru maşini textile, răzuitoare textile.
OSC 12	1,15-1,24	0,10-0,35	0,15-0,35	0,030	0,025	0,050	221	62	Scule cu duritate mare, cu muchii de tăiere foarte ascuțite care nu sunt supuse la lovituri: scule de trefilat, pile, alezoare, burghie, instrumente chirurgicale, piese de uzură pentru maşini textile, răzuitoare de mână.

Observație: Conținutul maxim de Cr, Ni şi Cu este de 0,25% pentru fiecare.

Tabelul 3.39. **Oțeluri aliate pentru scule**

Marca oțelului	Compoziția chimică %								Duritatea			Domenii de utilizare
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	V	Mo	HB (după recoacere)	HRC (după călire)	HRC (după îmbunătățire)	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1) Oțeluri care lucrează la temperatură normală												
a) Oțeluri pentru scule rezistente la uzură												
90 VMn 20	0,80-0,95	1,80-2,20	0,10-0,40	max 0,35	max 0,35	-	0,05-0,20	-	223	62	59	Scule de precizie, nedeformabile: filiere, calibre, şabloane, matrițe, ştanțe la rece.
105 MnCrW 11	1,00-1,10	0,80-1,10	0,10-0,40	0,90-1,10	max 0,35	1,00-1,30	-	-	229	61	59	Scule pentru prelucrări la rece: tarozi, freze, alezoare, filiere, burghie, broşe, scule de tăiere, plăci de tăiere, cuțite fine profilate, scule pentru prelucrarea lemnului, matrițe mici pentru mase plastice, cuțite pentru tăierea hârtiei, instrumente de măsurat.
117 VCr 6	1,10-1,25	0,20-0,40	0,15-0,30	0,50-0,80	max 0,35	-	0,07-0,12	-	223	62	60	Scule pentru prelucrări la rece: tarozi, burghie, alezoare, extractoare, ştemuitoare, scule pneumatice, scule de poansonat şi gravat.
b) Oțeluri pentru scule foarte rezistente la uzură												
100 VMoCr 52	0,90-1,05	0,50-0,80	0,10-0,40	4,80-5,50	-	-	0,15-0,35	0,90-1,30	241		61	Scule pentru deformare la rece, foarte rezistente la uzură.
165 VWMoCr115	1,55-1,75	0,20-0,40	0,25-0,40	11,0-12,0	max 0,35	0,40-0,60	0,10-0,50	0,50-0,70	255	62	60	Scule nedeformabile, de mare productivitate, cu stabilitate dimensională, foarte rezistente la uzură şi cu tenacitate ridicată: freze, filiere, tarozi, mandrine, broşe.
155 MoVCr 115	1,50-1,60	0,15-0,45	0,10-0,40	11,0-12,0	max 0,35	-	0,90-1,10	0,60-0,80	255	62	61	Scule nedeformabile, de mare productivitate, cu stabilitate dimensională, foarte rezistente la uzură şi cu tenacitate ridicată: ştanțe cu sensibilitate la rupere, ferăstraie pentru metale, ştanțe de îndoit, foarfece pentru tăiere la rece, matrițe de debavurat, scule de rulat filete, scule pentru prelucrarea lemnului puternic solicitate, scule de extrudare.

Tabelul 3.39. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
205 Cr 115	1,90-2,20	0,15-0,45	0,10-0,40	11,0-12,0	max 0,35	-	-	-	248	62	60	Scule nedeformabile, cu călibilitate redusă, rezistente la uzură, care nu lucrează la şocuri sau lovituri puternice, cu tenacitate ridicată: matrițe, poansoane, dornuri de tragere, scule de laminare la rece şi forjare la cald, scule de extrudare.
c) Oțeluri pentru scule aşchietoare şi dispozitive de verificare												
90 VCrMn 20	0,85-0,95	1,90-2,10	0,10-0,40	0,20-0,50	max 0,35	-	0,05-0,15	-	220	62	60	Scule pentru tăiere (cuțite industriale, ştanțe, matrițe pentru tăiat), scule pentru poansonare, scule aşchietoare, scule pentru ambutisare adâncă, scule de măsurat.
105 CrW 20	1,00-1,10	0,15-0,40	0,15-0,35	0,60-0,90	max 0,35	1,80-2,20	-	-	228	64	60	Scule pentru prelucrare la rece: tarozi, bacuri de filiere, burghie, broşe.
d) Oțeluri pentru scule rezistente la şoc												
45 VSiCrW 20	0,40-0,50	0,20-0,40	0,80-1,10	0,90-1,20	max 0,35	1,80-2,10	0,15-0,20	-	225	55	52	Scule rezistente la şoc: buterole (căpuitoare de nituri), dălți pneumatice, ştanțe, matrițe pentru prelucrare la rece.
e) Oțeluri pentru chei fixe şi scule de mână												
31 VCr 5	0,28-0,35	0,40-0,60	0,25-0,40	0,40-0,70	-	-	0,07-0,12	-	225		50	Scule cu destinație specială de utilizare: chei fixe şi scule de mână, freze-melc.
2) Oțeluri care lucrează la temperaturi ridicate *a) Oțeluri pentru scule rezistente la şocuri termice*												
31 VMoCr 29	0,28-0,35	0,15-0,45	0,10-0,40	2,70-3,20	max 0,35	-	0,40-0,70	2,60-3,00	229	52	48	Scule de prelucrare la cald: matrițe şi subansambluri de matrițe, scule pentru fabricarea şuruburilor şi niturilor, scule pentru maşini de forjat radial, scule de extrudare supuse la solicitări mari pentru prelucrarea aliajelor cuprului (bucşe, matrițe de presare).
36 VSiWMoCr 53	0,32-0,40	0,30-0,60	0,90-1,20	5,00-5,60	max 0,35	1,20-1,40	0,15-0,40	1,30-1,60	231	54	48	Scule pentru deformare la cald: matrițe pentru extrudarea la cald a neferoaselor.
39 VSiMoCr 52	0,36-0,42	0,30-0,50	0,90-1,20	4,80-5,50	max 0,35	-	0,25-0,50	1,10-1,40	229	52	50	Scule pentru deformare la cald: matrițe şi subansambluri de matrițe, forme permanente pentru turnarea sub presiune a metalelor uşoare.

Tabelul 3.39. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40 VSiMoCr 52	0,37-0,43	0,30-0,50	0,90-1,20	4,80-5,50	max 0,35	-	0,90-1,10	1,20-1,50	229	52	51	Scule pentru deformare la cald: matrițe şi subansambluri de matrițe, forme permanente pentru turnarea sub presiune a metalelor uşoare, scule de extrudare (dornuri, mandrine la presele de extrudare)
b) Oțeluri pentru scule rezistente la şocuri mecanice												
55 MoCrNi 16	0,50-0,60	0,50-0,80	0,10-0,40	0,50-0,80	1,40-1,80	-	-	0,15-0,30	240		40	Scule pentru forjare şi presare la cald: matrițe mari, forme pentru injectat mase plastice, nicovale mari, cilindri de laminor.
55 VMoCrNi 16	0,50-0,60	0,65-0,95	0,10-0,40	0,60-0,80	1,50-1,80	-	0,07-0,12	0,25-0,35	248	48	40	Scule pentru forjare şi presare la cald: nicovale, matrițe pentru ciocane medii şi mici.
55 VMoCrNi 17	0,50-0,60	0,65-0,95	0,10-0,40	1,00-1,20	1,60-1,90	-	0,10-0,20	0,50-0,60	248	48	44	Scule pentru forjare şi presare la cald: matrițe de dimensiuni mari care lucrează în condiții foarte grele, suporturi de matrițe, poansoane de extrudare, precum şi forme permanente de injectat mase plastice şi cilindri de laminor.
57 VMoCrNi 17	0,52-0,62	0,60-0,80	0,15-0,35	1,00-1,20	1,60-1,90	-	0,10-0,20	0,50-0,60	250	48	44	Scule pentru forjare şi presare la cald: matrițe mari care lucrează în condiții foarte grele.
c) Oțeluri pentru scule rezistente la uzură												
30 VCrW 85	0,25-0,35	0,20-0,40	0,15-0,30	2,50-2,80	max 0,35	8,00-9,00	0,30-0,40	-	250	49	48	Scule pentru deformare la cald: matrițe şi dornuri care lucrează până la 700 ºC, foarfece şi cuțite de tăiat la cald, scule de refulare la cald, elemente ale formelor permanente pentru turnare sub presiune.

Observație: Pentru toate mărcile de oțeluri, se admite un conținut maxim de 0,30 % Cu, iar conținuturile maxime de fosfor şi sulf trebuie să fie de 0,030 % pentru fiecare.

Tabelul 3.40. **Oțeluri rapide de scule**

Marca oțelului	Compoziția chimică %								Densitatea [kg/dm^3]	Temperatura de deformare plastică la cald [°C]	Duritatea		Domenii de utilizare
	C	Mn	Si	Cr	Mo	W	V	Co			HB (după recoacere)	HRC (după revenire)	
Rp 1	0,90-1,00	max 0,50	max 0,50	3,80-4,40	max 1,00	9,00-10,00	2,30-2,70	5,00-6,00	8,40	1100 - 900	max. 269	64	Scule pentru așchiere rapidă puternic solicitate la uzură și la temperatură: freze și cuțite
Rp 2	0,75-0,83	max 0,40	max 0,45	3,80-4,50	0,50-0,80	17,50-18,50	1,40-1,70	4,50-5,00	8,70	1150 - 900	240 - 300	64	Scule pentru așchiere cu viteze foarte mari, pentru materiale foarte dure: freze și cuțite.
Rp 3	0,70-0,78	max 0,40	max 0,45	3,80-4,50	max 0,60	17,50-18,50	1,00-1,20	max 0,60	8,70	1150 - 900	240 - 300	64	Scule pentru așchiere cu viteze mari, pentru materiale cu duritate ridicată: burghie, scule de filetat, freze.
Rp 4	1,17-1,27	max 0,40	max 0,45	3,80-4,50	4,70-5,20	6,00-6,70	2,70-3,20	-	8,20	1100 - 900	240 - 300	65	Scule de așchiere cu randament ridicat: freze, alezoare solicitate puternic, dornuri, poansoane și matrițe pentru extrudare la rece.
Rp 5	0,86-0,94	max 0,40	max 0,45	3,80-4,50	4,70-5,20	6,00-6,70	1,70-2,00	max 0,60	8,20	1050 - 900	240 - 300	64	Scule de așchiere cu randament satisfăcător, pentru materiale cu duritate ridicată: burghie elicoidale, tarozi, cuțite.
Rp 9	0,95-1,03	max 0,40	max 0,45	3,80-4,50	2,50-2,80	2,70-3,00	2,20-2,50	max 0,60	8,00	1100 - 900	225 - 280	64	Scule așchietoare supuse la uzură puternică, în regim termic moderat: burghie și freze.
Rp 10	0,78-0,86	max 0,40	max 0,45	3,50-4,20	8,00-9,20	1,50-2,00	1,00-1,30	max 0,60	8,00	1100 - 900	225 - 280	64	Scule așchietoare cu regimuri de așchiere ușoară, în materiale cu duritate mică: burghie, scule de filetat, cuțite, freze.
Rp 11	0,97-1,07	max 0,40	max 0,45	3,50-4,20	8,00-9,20	1,50-2,00	1,80-2,20	max 0,60		1100 - 900	230 - 280	64	Oțel rapid economic pentru scule așchietoare: freze și scule pentru decupat.

Observație: Pentru toate mărcile, conținuturile de fosfor și sulf trebuie să fie de maximum 0,030 % pentru fiecare.

Mărcile de oțel rapid pentru scule se notează cu simbolul *Rp* (prescurtare de la cuvântul *rapid*), urmat de un număr stabilit convențional (STAS 7382-88). În tabelul 3.40 sunt prezentate aceste mărci.

3.4.4.5. Oțeluri pentru pile. Aceste oțeluri sunt laminate la cald sau trase la rece şi sunt destinate fabricării pilelor şi raşpelelor (pile cu una sau mai multe fețe, cu dinți mari, folosite la prelucrarea lemnului, a tălpii, a pieselor metalice cu duritate mică sau a pieselor nemetalice). Ele sunt nealiate sau slab aliate cu crom, prezentând o bună capacitate de deformare plastică la cald şi o bună uzinabilitate a părții active care îşi menține o duritate ridicată după tratamentul termic (STAS 1669/1-85 *3/89*).

Pilele se execută din următoarele mărci tipizate de oțeluri: OLC 10, OLC 15, OLC 20 şi OLC 25 (STAS 880-88), OL 32, OL 34 şi OL 37 (STAS 500/2-80), RUL 1 (STAS 1456/1-89). Compozițiile chimice, caracteristicile mecanice şi tratamentele termice au fost prezentate în cadrul standardelor menționate.

3.5. Dicționar român-englez-francez de cuvinte-cheie

diagrama fier-carbon	iron-carbon phase diagram	diagramme (*m*) fer-charbon
cementită	cementite	cémentite (*f*)
ferită	ferrite	ferrite (*f*)
perlită	pearlite	perlite (*f*)
austenită	austenite	austénite (*f*)
ledeburită	ledeburite	lédéburite (*f*)
fier	iron	fer (*m*)
carbon	carbon	carbone (*m*)
fontă	cast iron; pig-iron	fonte (*f*)
fontă brută	pig-iron	fonte (*f*) de première fusion
fontă de turnătorie	foundry pig-iron	fonte (*f*) de moulage
fontă de afinare	steel-making pig-iron	fonte (*f*) d'affinage
fontă albă	white cast iron	fonte (*f*) blanche
fontă cenuşie	grey cast iron	fonte (*f*) grise
fontă cu grafit lamelar	lamellar graphite cast iron	fonte (*f*) à graphite lamellaire
fontă cu grafit nodular	spheroidal graphite cast iron	fonte (*f*) à graphite sferoïdal
fontă maleabilă	malleable cast iron	fonte (*f*) malléable
fontă maleabilă cu inimă albă	whiteheart malleable cast iron	fonte (*f*) malléable à coeur blanc; fonte (*f*) européene
fontă maleabilă cu inimă neagră	blackheart malleable cast iron	fonte (*f*) malléable à coeur noir; fonte (*f*) américaine
fontă perlitică	pearlitic cast iron	fonte (*f*) perlitique
fontă specială	special cast iron	fonte (*f*) fine
fontă antifricțiune	antifriction cast iron	fonte (*f*) antifriction
fontă de fricțiune	bearing cast iron	fonte (*f*) de friction

fontă refractară	heat resisting cast iron	fonte (*f*) réfractaire
fontă austenitică	austenitic cast iron	fonte (*f*) austénitique
oțel	steel	acier (*m*)
oțel-carbon	carbon steel	acier (*m*) au carbone
oțel-carbon obişnuit	plain steel	acier (*m*) au carbone de construction
oțel de cementare	carburizing steel	acier (*m*) de cémentation
oțel necalmat	rimming (rimmed) steel	acier (*m*) effervescent
oțel semicalmat	semi-killed steel	acier (m) semi-calmé
oțel calmat	killed steel	acier (*m*) calmé
oțel-carbon de calitate	quality carbon steel	acier (*m*) au carbone de qualité
oțel turnat	cast steel	acier (*m*) moulé
oțel aliat	alloy steel	acier (*m*) allié
oțel pentru automate	free-cutting steel	acier (*m*)de décolletage
oțel anticorosiv	corrosion resisting steel	acier (*m*) résistant à la corrosion
oțel refractar	heat-resisting steel	acier (*m*) réfractaire
oțel inoxidabil	stainless steel	acier (*m*) inoxydable
oțel rezistent la uzură	wear resisting steel	acier (*m*) résistent à l'usure
oțel pentru arcuri	springs steel	acier (*m*) à ressorts
oțel pentru rulmenți	bearings steel	acier (*m*) à roulements
oțel pentru țevi	tubes steel	acier (*m*) à tubes
oțel pentru table de caza-ne şi recipiente sub presiune	plates steel for boilers and pressure vessels	acier (*m*) à toles pour chaudières et appareils à pression
oțel de scule	tool steel	acier (*m*) à outils
oțel-carbon de scule	carbon tool steel	acier (*m*) au carbone à outils
oțel aliat de scule	alloy tool steel	acier (*m*) allié à outils
oțel rapid	high-speed steel	acier (*m*) rapide
oțel pentru pile	file steel	acier (*m*) pour limes

4

METALE ŞI ALIAJE NEFEROASE

4.1. Generalităţi

Metalele şi aliajele neferoase au o importanţă mare în tehnică, datorită unor proprietăţi care lipsesc fontelor şi oţelurilor: masă volumică redusă (Al, Mg, Ti), conductibilităţi termică şi electrică ridicate, maleabilitate, ductilitate, rezistenţe ridicate la oxidare şi coroziune, calităţi bune de antifricţiune etc. Ele se utilizează la elaborarea oţelurilor aliate (Cr, Ni, Mo, W, V, Co etc.), în construcţia de autovehicule, vapoare, avioane şi nave cosmice (Al, Mn, Ti, Zr, Mo, W), în tehnica nucleară (V, Th, Be), în medicină (Hg, Si, Pt, Ag, Au), în industriile chimică, alimentară, poligrafică şi de armament etc., reprezentând circa 10% din consumul mondial de metal.

Întrebuinţarea mai largă a lor este limitată de faptul că sunt deficitare şi, în general, au preţuri foarte ridicate. Din aceste motive se impune folosirea lor în mod cât mai raţional şi înlocuirea, acolo unde este posibil, cu aliaje feroase sau cu mase plastice.

Clasificarea metalelor şi aliajelor neferoase se poate face după mai multe criterii, în fig. 4.1 fiind prezentată o astfel de clasificare.

4.2.Cuprul şi aliajele cuprului

4.2.1. Cuprul

Cuprul a fost cunoscut din vremuri străvechi în Mesopotamia şi Egipt, unde se afla în stare nativă, fiind primul metal folosit în scopuri practice. Numele i-a fost dat de către romani (*cuprum*) după denumirea insulei Cipru care constituia baza de aprovizionare a Romei cu acest metal (Cyprium).

Cuprul reprezintă 0,010% din scoarţa terestră, aflându-se atât în stare nativă, cât mai ales în minereuri sulfuroase şi oxidice: calcozină (Cu_2S), covelină (CuS), bornit (Cu_5FeS_4), calcopirită ($CuFeS_2$), cuprit (Cu_2O), tenorit (CuO), malahit [$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$], azurit [$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$]. În lume, astfel de zăcăminte se întâlnesc în Zambia, Zair, Chile, Peru, SUA, Canada şi Polonia, iar în ţara noastră, în bazinul minier Baia Mare, la Bălan, Moldova Nouă, Roşia Poieni şi Deva. Ele se exploatează la conţinuturi minime în zăcământ de 0,5…0,8%.

Cuprul se extrage din minereuri prin procedee pirometalurgice sau hidrometalurgice. Procedeul pirometalurgic se aplică minereurilor bogate şi constă

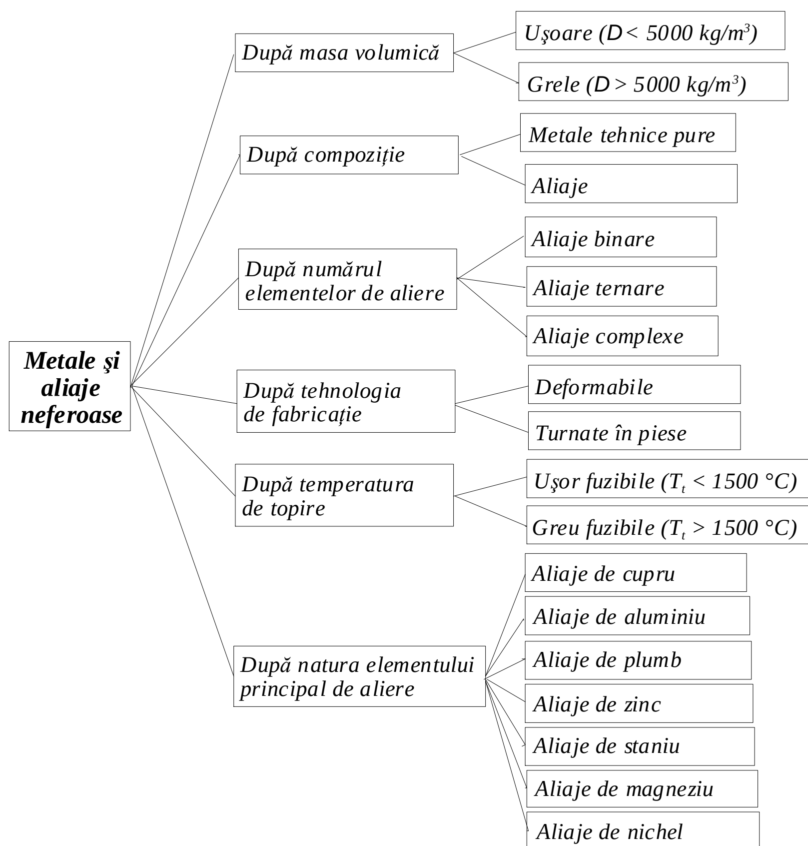


Fig. 4.1. Clasificarea metalelor şi aliajelor neferoase.

într-o concentrare a acestora până la 15…25% Cu, urmată de o prăjire oxidantă, pentru desulfurare şi o topire pentru mată. Mata este convertizată, iar cuprul brut obţinut este rafinat termic şi electrolitic. Procedeul hidrometalurgic se aplică minereurilor sărace, greu de concentrat şi constă în dizolvarea cuprului într-o soluţie apoasă şi apoi separarea lui din soluţie.

Cuprul face parte din grupa I secundară a sistemului periodic, având numărul atomic 29, masa atomică 63,54 şi valenţele 1 şi 2. Are culoare arămie (de unde şi numele de *aramă*), cristalizează în sistemul cubic cu feţe centrate şi nu are alte stări alotropice. Se topeşte la 1083 ºC este maleabil, ductil şi tenace şi foarte bun conducător de căldură (conductivitatea termică la 20 ºC este de 397 W/m·K) şi electricitate (rezistivitatea electrică la 20 ºC este de 0,01724 $\Omega \cdot mm^2/m$). Densitatea cuprului pur este de 8,92 kg/dm^3, iar a cuprului tehnic, de 8,90…8,96 kg/dm^3.

Din punct de vedere chimic, este deosebit de rezistent la coroziunea atmosferică, a apei de mare şi vaporilor supraîncălziţi, dar este puţin reactiv, dizolvându-se numai în HNO_3 şi H_2SO_4. Hidrogenul sulfurat, bioxidul de azot şi amoniacul îl atacă la temperatura obişnuită, iar Pb, Bi şi Sb creează dificultăţi

serioase laminării la cald a cuprului. Aerul umed ce conține CO_2 acoperă cuprul cu un strat de carbonat bazic, de culoare verde şi toxic (cocleală).

Proprietățile mecanice ale cuprului depind de starea sub care se prezintă materialul (turnat, deformat sau recopt), unele valori medii fiind prezentate în tabelul 4.1

Tabelul 4.1. **Proprietățile mecanice ale cuprului**

$R_{p0,2}$ [N/mm^2]		R_m [N/mm^2]		R_e [N/mm^2]		A [%]		Z [%]		HB		E (la 20ºC) [kN/mm^2]
D	R	D	R	D	R	D	R	D	R	D	R	
365	80	430	230	12	27	5,5	40	32	75	120	45	130

Observații: Re –rezistență la oboseală după 10^8 cicluri; *D* - deformat plastic prin laminare(ecruisat); *R*-recopt.

Din punct de vedere tehnologic, cuprul are o foarte bună plasticitate atât la cald, cât şi la rece, se sudează şi se lipeşte uşor şi se prelucrează acceptabil prin aşchiere. Înainte de prelucrare, se decapează cu o soluție de 10% H_2SO_4. În tabelul 4.2 se prezintă principalele proprietăți tehnologice ale cuprului.

Tabelul 4.2. **Proprietățile tehnologice ale cuprului**

Turnare			Deformare plastică			Tratament termic		
Temperatura de turnare, [ºC]	Contracția [%] Volumică	Contracția [%] Liniară	Grad maxim de deformare [%]	Temperatura de laminare la cald [ºC]	Temperatura de extrudare [ºC]	Temperatura de recoacere [ºC]	Temperatura de detensionare [ºC]	Temperatura de recristalizare [ºC]
1150 … 1250	4,2 … 4,8	2,1	80 … 90	850 … 950	800 … 900	500 … 650	200 … 250	150 … 350

Cuprul produs pentru utilizări în industrie, numit şi *cupru tehnic*, este cuprul rafinat chimic, termic sau electrolitic şi are o puritate de 99,85…99,99%. În tabelul 4.3 se prezintă formele brute de rafinare din cupru, conform SR ISO 431:1995. Standardul fiind internațional, simbolurile literale reprezintă inițialele denumirilor formelor de livrare în limba engleză. Formele brute de rafinare cuprind bare pentru sârme turnate continuu orizontal şi vertical, plăci, bilete (semifabricate cu secțiunea circulară, cu diametre mari) şi lingouri din care se obțin, prin deformare plastică, sârme, bare, table, plăci, benzi, platbande, discuri, țevi şi anozi.

Datorită proprietăților sale speciale, cuprul are numeroase utilizări. Astfel, datorită conductivității electrice foarte bune (a doua după argint), circa 50% din producția mondială de cupru se utilizează în electrotehnică, energetică şi electronică, la bobinarea maşinilor şi a aparatelor electrice, la confecționarea conductoarelor pentru transportul energiei electrice şi tracțiune electrică (locomotive, tramvaie şi troleibuze). Având şi o conductivitate termică foarte bună, este folosit la fabricarea schimbătoarelor de căldură şi a instalațiilor criogenice, precum şi a plăcilor de focare şi benzilor de radiatoare. Se mai utilizează în industriile chimică, alimentară şi de armament, în galvanoplastie (procedeu tehnic

Tabelul 4.3. **Forme brute de rafinare din cupru**

Simbolizare	Forma de livrare	Compoziția chimică		Proprietăți electrice				Forme brute de rafinare				
		Cu și Ag [%]	Alte elemente [%]	Rezistivitate masică [$\Omega g/m^2$] (max.)	Rezistivitate volumică [$\Omega mm^2/m$] (max.)	Conductivitate		Bară pentru sârmă turnată vertical	Bară pentru sârmă turnată orizontal	Placă	Biletă	Lingou
						[MS/m] (min.)	[%IACS] (min.)					
Cu-CATH	Cupru în catozi	99,90	-	0,15328	0,01724	58,00	100,00	Numai catozi				
Cu-ETP	Cupru rafinat electrolitic, cu conținut de oxigen	99,90	-	0,15328	0,01724	58,00	100,00	x	x	x	x	x
Cu-FRHC	Cupru rafinat termic, cu conductivitate ridicată	99,90	-	0,15328	0,01724	58,00	100,00	x	x	x	x	x
Cu-CRTP	Cupru rafinat chimic, cu conținut de oxigen	99,90	-	0,15328	0,01724	58,00	100,00	-	x	x	x	x
Cu-FRTP	Cupru rafinat termic, cu conținut de oxigen	99,85	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x
Cu-HCP	Cupru cu conductivitate ridicată, cu conținut de fosfor	99,95	P=0,001-0,005	0,15614	-	-	98,16	x	-	x	x	-
Cu-PHC	Cupru cu conductivitate ridicată, cu conținut de fosfor	99,95	P=0,003	0,15328	0,01724	58,00	100,0	x	-	x	x	-
Cu-PHCE	Cupru cu conductivitate ridicată, cu conținut de fosfor (utilizat în electronică)	99,99 (excl.Ag)	1)	0,15176	0,01707	58,58	101,0	x	-	x	x	-
Cu-DLP	Cupru dezoxidat cu fosfor, cu conținut redus de fosfor	99,90	P=0,005-0,012	-	-	-	-	-	-	x	x	-
Cu-DHP	Cupru dezoxidat cu fosfor, cu conținut ridicat de fosfor	99,85	P=0,013-0,04	-	-	-	-	-	-	x	x	-
Cu-OF	Cupru rafinat electrolitic, fără oxigen	99,95	2)	0,15328	0,01724	58,00	100,0	x	-	x	x	-
Cu-OFE	Cupru rafinat electrolitic, fără oxigen (utilizat în electronică)	99,99 (excl.Ag)		0,15176	0,01707	58,58	101,0	x	-	x	x	-
Cu-Ag(OF)	Cupru cu argint, fără oxigen	99,95		0,15328	0,01724	58,00	100,0	x	-	x	x	-
Cu-Ag	Cupru cu argint, cu conținut de oxigen	99,90		0,15328	0,01724	58,00	100,0	x	x	x	x	-
Cu-Ag(P)	Cupru cu argint, dezoxidat cu fosfor	99,90		0,15596	0,01754	57,00	98,3	-	-	x	x	-

Observații: 1) – Bi=0,001; Cd=0,0001; P=0,0003; Hg=0,0001; O_2=0,003; Pb=0,001; Se=0,001; S=0,0018; Te=0,001; Zn=0,0001.
2) – Bi=0,01; Cd=0,0001; P=0,0003; Hg=0,0001; O_2=0,001; Pb=0,001; Se=0,001; S=0,0018; Te=0,001; Zn=0,0001.

de reproducere în relief a obiectelor care constă în acoperirea lor cu un strat de metal depus prin electroliză), precum şi la fabricarea aliajelor (bronzuri şi alame).

4.2.2. Aliaje de cupru

După cum se ştie, *aliajul* este un material cu proprietăţi metalice, obţinut prin topirea laolaltă a două sau mai multor metale, a unor metale şi metaloizi, ori prin difuzie. Aliajele de cupru sunt: aliaj cupru-zinc (alamă), aliaj cupru-staniu (bronz), aliaj cupru-nichel-zinc (alpacá), precum şi aliajele cuprului cu nichelul şi aluminiul şi aliajele speciale (cu beriliu, siliciu, mangan etc.).

4.2.2.1. Alama. *Alama* este un aliaj cupru-zinc cu sau fără alte elemente. Dacă sunt prezente şi alte elemente, atunci conţinutul de zinc depăşeşte conţinutul fiecăruia dintre aceste elemente. În acest caz, termenul se completează cu numele elementului principal de aliere (alame cu mangan, alame cu siliciu etc.).

Alama are proprietăţi mecanice şi tehnologice bune, superioare celor ale cuprului, precum şi o bună rezistenţă la coroziune. Se toarnă uşor şi este maleabilă şi ductilă. Prin deformare plastică la rece se ecruisează puternic, ecruisarea înlăturându-se printr-o recoacere de recristalizare la 350…450 ºC. Aşchiabilitatea alamei este bună.

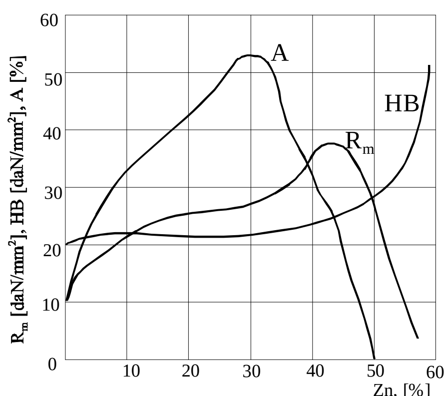


Fig. 4.2. Variaţia caracteristicilor mecanice ale alamelor cu conţinutul de zinc.

Proprietăţile alamelor depind de conţinutul de zinc (fig.4.2). Rezistenţa la rupere şi plasticitatea cresc odată cu conţinutul de zinc, dar numai până la 30% Zn, după care scad rapid. Din acest motiv, conţinutul de zinc nu depăşeşte 45%.

Clasificarea alamelor se face după criteriile prezentate în fig.4.3.

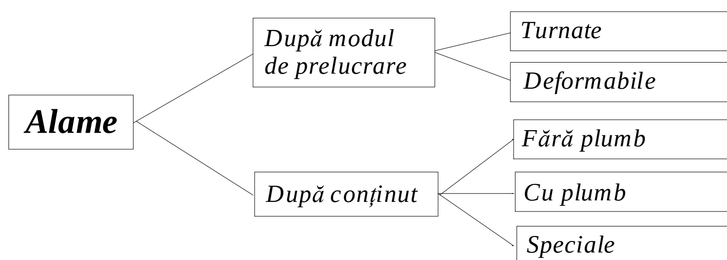


Fig. 4.3. Clasificarea alamelor.

Alamele turnate se utilizează, după retopire, pentru obţinerea unor piese prin turnarea în cochilii, în amestecuri de formare şi uneori sub presiune. Alamele topite au o fluiditate bună, şi nu manifestă tendinţa de segregare. Notarea lor se

face prin simbolurile principalelor elemente de aliere, cu indicarea conţinutului mediu, în procente, şi litera *T* (turnare). În tabelul 4.4 sunt prezentate mărcile de alame turnate în piese, standardizate în România (STAS 199/2-86), cu compoziţiile chimice, câteva caracteristici mecanice şi domenii de utilizare.

Alamele deformabile se pretează deformării plastice la cald sau la rece şi se livrează sub formă de table, benzi, bare, profiluri, ţevi, sârme şi piese forjate. După compoziţia chimică ele pot fi *fără plumb* (aliaje binare), *cu plumb* (conţin până la 3% Pb) şi *speciale* (care mai conţin Fe, Mn, Al, Si, Ni). Dacă conţinutul de cupru depăşeşte 80%, alamele au o culoare roşiatică şi se numesc *tombacuri*. Acestea sunt foarte maleabile, dar se prelucrează mai greu prin aşchiere.

Pentru deformări plastice la rece se recomandă alamele cu conţinuturi mari de cupru, iar pentru deformări plastice la cald, cele cu conţinut mare de zinc, precum şi alamele speciale.

Notarea alamelor deformabile (STAS 95-90) se face indicând simbolul chimic al metalului de bază şi al elementelor de aliere componente, urmate de conţinutul mediu, în procente, al acestora. În tabelul 4.5 se prezintă aceste alame.

Alamele speciale au proprietăţi mecanice şi tehnologice mai bune decât cele obişnuite, o stabilitate la coroziune sporită, precum şi unele proprietăţi speciale, astfel:

a) - Alama cu aluminiu are rezistenţă la rupere şi duritate bune, conferă refractaritate şi rezistenţă la coroziune şi la oxidarea la cald, se toarnă uşor şi asigură aplicarea unui tratament termic de durificare. Se utilizează la confecţionarea armăturilor, bucşelor, lagărelor, precum şi a pieselor care lucrează în mediul marin.

b) - Alama cu mangan are caracteristici mecanice bune (rezistenţă la rupere, limită de curgere, alungire), este rezistentă la coroziune (în apă de mare, abur supraîncălzit şi cloruri) şi se prelucrează foarte bine la cald şi la rece. Se utilizează la piese antifricţiune (bucşe, lagăre), piese de nave (armături, elice) şi la piese ce lucrează la presiuni mari.

c) - Alama cu fier are caracteristici mecanice bune (rezistenţă la rupere, limită de curgere, alungire la rupere, tenacitate), fierul contribuind şi la îmbunătăţirea aşchiabilităţii. Se întrebuinţează în construcţii navale.

d) - Alama cu siliciu este rezistentă la coroziunea atmosferică şi a apei de mare, se toarnă uşor şi se sudează bine. Se foloseşte pentru armături, roţi dinţate şi piese care lucrează în mediu marin, precum şi pentru bucşe şi lagăre turnate.

e) - Alama cu nichel are proprietăţi mecanice foarte bune (rezistenţă la uzură şi la rupere, plasticitate, tenacitate), este rezistentă la coroziune (în mediul ambiant, în apa de mare şi în prezenţa bacteriilor) şi se prelucrează bine prin deformare plastică la cald şi la rece. Nichelul conferă alamei o culoare frumoasă şi proprietatea de a se lustrui bine. Ea se utilizează la confecţionarea pieselor care lucrează în medii corosive, precum şi a unor bunuri de consum (tacâmuri, fermoare, chei pentru locuinţe, piese de ochelari).

f) - Alama cu plumb are proprietăţi de antifricţiune, se prelucrează uşor prin aşchiere, se toarnă şi se deformează plastic la cald. Se mai numeşte *alamă pen-*

Tabelul 4.4. **Alame turnate în piese**

Marca aliajului	Compoziția chimică [%]								Impurități (maximum) [%]								Procedeul de turnare	Caracteristici mecanice			Domenii de utilizare
	Cu	Pb	Mn	Fe	Al	Sn	Ni	Zn	Pb	Mn	Fe	Al	Sn	Sb	P	Total		Rm [N/mm^2]	A [%]	HB	
CuZn40PbT	57-60	0,8-1,9	-	-	-	-	-	Rest	-	-	0,8	-	1,0	0,05	-	2,0	F C	200	20	75	Colivii de rulmenți, armături, piese ornamentale
CuZn33Pb2T	63-69	1,0-2,8	-	-	-	-	-	Rest	-	0,3	0,75	0,1	1,5	0,05	0,02	3,0	N C	150 160	10 8	40 40	Armături industriale, piese pentru construcții de mașini, piese ornamentale
CuZn32Pb2T	65–69	1,0-2,8	-	-	-	-	-	Rest	-	0,1	0,5	0,1	1,0	0,05	0,02	1,5	N C P	180 200 220	20 15	40	Armături industriale, piese turnate
CuZn40PbSnT	58–63	0,8-1,75	-	-	-	0,5-1,2	-	Rest	-	0,3	0,25	0,4	-	0,1	0,05	1,0	P C	280	7	80	Armături industriale, piese pentru construcții de mașini
CuZn40Mn2AlT	53 – 59	-	1,5-2,8	0,2-0,5	0,5-1,0	-	-	Rest	0,5	-	-	-	0,5	0,1	-	2,0	C	350	15	100	Armături industriale, piese solicitate la uzură
CuZn38Pb2Mn2T	57 – 60	1,5-2,5	1,5-2,5	-	-	-	-	Rest	-	-	0,8	1,0	0,5	0,1	0,05	2,5	C N	350 250	8 10	80 70	Lagăre, bucșe și alte piese solicitate la frecare
CuZn35Mn2FeAlNiT	54 – 60	0-1,2	1,0-3,0	1,0-2,0	0-2,0	-	0-2,0	Rest	-	-	-	-	0,5	0,1	0,1	1,5	C N	400 350	10 15	90 80	Armături, bucșe, piulițe care lucrează în apă dulce sau de mare
CuZn40Mn3FeT	53 – 58	-	3,0-4,0	0,5-1,5	-	-	-	Rest	0,5	-	-	0,6	0,5	0,1	0,04	2,0	C N	500 450	10 15	100	Armături navale și industriale, piese pentru construcții de mașini
CuZn30Al5Fe3Mn2T	64 - 68	-	1,5-3,5	2,0-3,5	4,5-7,5	-	-	Rest	0,2	-	-	-	0,1	0,1	0,1	1,0	N	500	5	110	Piulițe pentru presiuni mari, tije filetate

Observații: F - turnare centrifugă; *N* - turnare în forme din amestec de formare; *C* - turnare în cochilii; *P* – turnare sub presiune.

Tabelul 4.5. **Alame deformabile**

Marca aliajului	Compoziția chimică [%]								Densitate [kg/dm^3]	Forma de livrare
	Elemente de aliere		Impurități (maximum)							
	Cu	Zn	Pb	Fe	Mn	Al	Sn	Total		
a) Alame deformabile fără plumb										
CuZn10	89-91	Rest	0,05	0,1	0,05	0,02	0,05	0,4	8,8	Plăci (table), benzi, bare, țevi de uz general, sârme
CuZn15	84-86	Rest	0,05	0,1	0,05	0,02	0,05	0,4	8,8	Plăci (table), benzi, bare, țevi de uz general
CuZn20	79-81	Rest	0,05	0,1	0,05	0,02	0,05	0,4	8,7	Plăci (table), benzi
CuZn30	68,5-71,5	Rest	0,05	0,1	0,05	0,02	0,05	0,4	8,5	Plăci (table), benzi, bare, țevi de uz general, sârme
CuZn36	63-65	Rest	0,07	0,1	0,1	0,03	0,1	0,4	8,4	Plăci (table), benzi, bare, profiluri trase sau extrudate țevi de uz general, sârme
CuZn37	62-64	Rest	0,3	0,2	0,1	0,03	0,1	0,8	8,4	Bare, profiluri trase sau extrudate țevi de uz general, sârme
b) Alame deformabile cu plumb										
Marca aliajului	Elemente de aliere			Impurități (maximum)					Densitate, [kg/dm^3]	Forma de livrare
	Cu	Pb	Zn	Fe	Mn	Al	Sn	Total		
CuZn36Pb1	61-64	0,5-1,5	Rest	0,2	0,1	0,05	0,1	0,5	8,5	Plăci (table), bare, țevi de uz general, sârme
CuZn36Pb1,5	61-64	0,7-2,5	Rest	0,2	0,1	0,05	0,1	0,5	8,5	Bare
CuZn39Pb2	57-60	1,0-3,0	Rest	0,4	0,2	0,1	0,3	1,5	8,4	Plăci (table, bare, profiluri trase sau extrudate țevi de uz general, sârme, piese forjate
CuZn39Pb3	57-59	2,5-3,5	Rest	0,4	0,2	0,1	0,3	1,5	8,4	Plăci (table, bare, profiluri trase sau extrudate țevi de uz general, sârme, piese forjate
CuZn40Pb1	59-61,5	0,3-1,5	Rest	0,3	0,1	0,05	0,2	1,0	8,4	Bare, sârme

Tabelul 4.5 (continuare)

c) *Alame speciale*																		
Marca aliajului	Compoziția chimică [%]																Densitate [kg/dm^3]	Forma de livrare
	Elemente de aliere								Impurități (maximum)									
	Cu	Pb	Fe	Mn	Al	Si	Zn	Alte element	Pb	Fe	Al	Si	Ni	Sn	Mn	Total		
CuZn31Si	66-70	-	-	-	-	0,7-1,3	Rest	-	0,8	0,1	-	-	0,5	-	-	2,2	8,4	Benzi, bare, țevi de uz general
CuZn36AlMnFe	58-62	0-1,5	0,5-2,0	0,2-2,5	1,0-3,0	-	Rest	Ni=0-5,0	-	-	-	-	-	-	-	0,5	8,4	Bare, profiluri trase sau extrudate, piese forjate
CuZn38Pb2Mn2	57-60	1,5-2,5	-	1,5-2,5	-	-	Rest	-	-	1,0	1,0	-	-	-	-	2,5	8,5	Bare, profiluri trase sau extrudate, piese forjate
CuZn39Mn1,5Al	56-60	0-1,5	-	0,5-2,0	0,5-2,0	0-0,5	Rest	-	-	0,5	-	-	-	-	-	0,5	8,2	Bare
CuZn39Ni3	57-61	-	-	-	-	-	Rest	Ni=3,2-3,8	0,5	0,2	0,1	-	-	0,2	-	0,5	8,3	Sârme, piese forjate
CuZn40Mn3,5	53-58	0-0,5	0,5-1,5	3,0-4,0	-	-	Rest	-	-	-	0,5	-	-	-	-	1,0	8,3	Profiluri trase sau extrudate, piese forjate
CuZn42Mn3Al	57-60	-	-	2,0-4,0	1,5-2,0	0,6-0,9	Rest	-	0,35	0,25	-	-	-	-	-	1,0	8,3	Piese forjate
CuZn42Mn3Al2	57-60	0,2-0,35	-	2,0-4,0	1,2-2,4	-	Rest	-	-	0,35	-	0,25	-	-	-	1,0	8,3	Piese forjate
CuZn28Sn1	70-73	-	-	-	-	-	Rest	Sn=0,9-1,3 As(Sb) sau P=0,02-0,06	0,07	0,07	-	-	-	-	-	0,3	8,5	Piese pentru schimbătoare de căldură
CuZn38Mn1,5Al	57-60	0,5-1,0	-	1,0-2,0	1,0-1,5	0,3-0,7	Rest	Sn=0,1-0,5 Ag=0-0,2	-	0,35	-	-	-	-	-	0,5	8,1	Bare

tru automate, prelucrându-se pe maşini-unelte automate şi se utilizează îndeosebi la fabricarea lagărelor cu presiune specifică mare.

g) - Alama cu staniu este rezistentă la rupere şi la coroziune şi are duritate mare, dar alungirea la rupere este mică. Se utilizează la fabricarea pieselor navale şi a ţevilor de condensatoare.

4.2.2.2. Bronzul. *Bronzul* este un aliaj al cuprului cu staniul (*bronz obişnuit*) sau cu alte elemente (Al, Be, Cr, Mn, Pb, Si, Sn), caz în care se numesc *bronzuri speciale*. El este cel mai vechi aliaj cunoscut, fiind fabricat în Mesopotamia şi Sumer, în jurul anului 3.500 î.Hr., şi în Egipt, în jurul anului 2.800 î.Hr., prin topirea împreună a unor minereuri de cupru şi staniu. Are o importanţă foarte mare în dezvoltarea societăţii umane, astfel că mileniul al doilea î.Hr. se mai numeşte şi *epoca bronzului*.

Clasificarea bronzurilor se face după criteriile prezentate în fig.4.4.

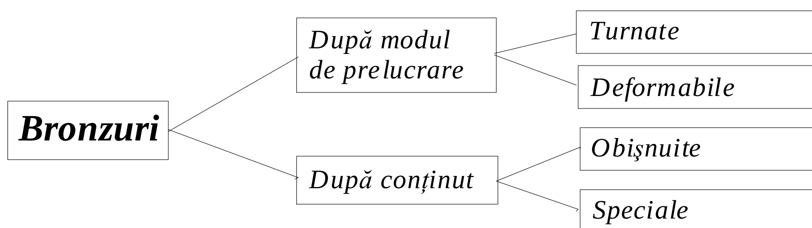


Fig. 4.4. Clasificarea bronzurilor.

4.2.2.2.1. Bronzul obişnuit. *Bronzul obişnuit* este un aliaj cupru-staniu, cu 2…15% Sn. Pentru îmbunătăţirea unor proprietăţi tehnologice se mai adaugă plumb şi zinc. El are proprietăţi mecanice (fig.4.5) şi tehnologice bune şi un coeficient de frecare mic. Este rezistent la coroziunea atmosferică şi a apei de mare, dar nu rezistă la acţiunea apelor de mină (care conţin săruri oxidante), a amoniacului şi a sulfului. Nu este sensibil la supraîncălzire, se sudează şi se lipeşte uşor, nu generează scântei prin lovire, este diamagnetic şi rezistent la ger. Ca impurităţi dăunătoare se menţionează Al, Si, Mg, Bi, As şi S care sunt limitate procentual prin standardele în vigoare.

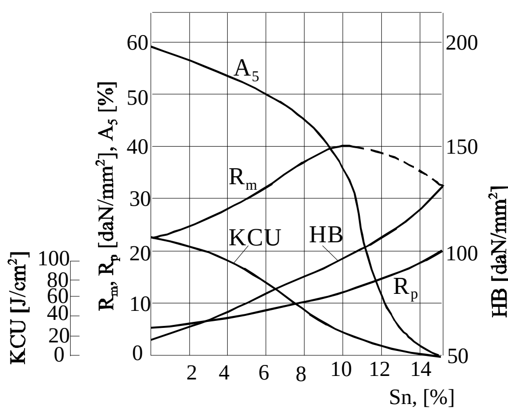


Fig. 4.5. Variaţia caracteristicilor mecanice ale bronzului obişnuit în funcţie de conţinutul de staniu.

Bronzurile obişnuite se prelucrează prin turnare (cel mai bine dintre toate bronzurile) şi prin deformare plastică.

Bronzurile turnate conţin mai mult staniu, precum şi zinc şi plumb (caz în care se mai numesc *bronzuri roşii*, mai ief-

tine, dar mai puţin rezistente). Se folosesc la fabricarea lagărelor cu alunecare pentru maşini-unelte şi material rulant, armăturilor de presiune care lucrează în abur şi apă, roţilor melcate şi roţilor dinţate elicoidale, piuliţelor pentru şuruburi conducătoare, precum şi a carcaselor, statoarelor şi rotoarelor de pompe care lucrează în apă de mare.

Bronzurile cu staniu turnate în piese se notează prin simbolul chimic al metalului de bază, urmat de simbolurile chimice ale elementelor componente şi conţinuturile medii ale acestora în aliaj, în procente (STAS 197/2-83). În tabelul 4.6 sunt prezentate mărcile de bronzuri turnate în piese, standardizate în România, cu compoziţiile chimice, câteva caracteristici mecanice şi domeniile de utilizare.

Bronzurile deformabile conţin mai puţin staniu şi uneori sunt aliate cu zinc şi plumb. Ele se livrează sub formă de benzi, table, ţevi, bare şi sârme şi se utilizează pentru arcuri, membrane, lamele arcuitoare, lagăre şi piese pentru construcţii de aparatură în industria chimică.

Notarea bronzurilor deformabile (SR ISO 427:1996) se face indicând simbolul chimic al metalului de bază şi al elementelor de aliere componente, urmate de conţinutul mediu al acestora, în procente. În tabelul 4.7 sunt prezentate aceste bronzuri.

4.2.2.2.2. Bronzurile speciale

a) - Bronzul cu aluminiu este un aliaj al cuprului cu maximum 10…11% aluminiu care, uneori, mai conţine fier, nichel, mangan sau siliciu. El are proprietăţi mecanice (fig.4.6) şi tehnologice foarte bune, rezistenţă ridicată la uzură, conductivităţi electrică şi termică bune, un coeficient mic de frecare şi o rezistenţă la coroziune mai bună decât a bronzului cu staniu şi se prelucrează prin turnare sau prin deformare plastică.

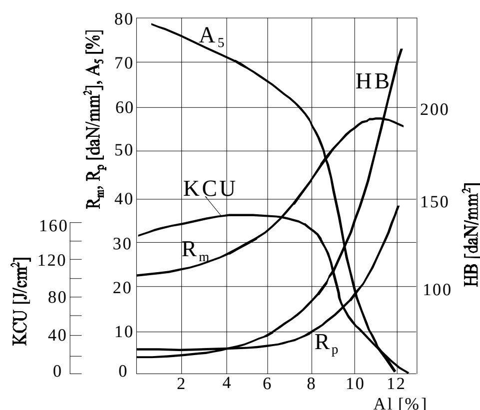


Fig. 4.6. Variaţia caracteristicilor mecanice ale bronzului cu aluminiu în funcţie de conţinutul de aluminiu.

Bronzurile cu aluminiu turnate în blocuri sunt prezentate în tabelul 4.8. Notarea lor (STAS 198/1-86) se face prin simbolurile şi conţinuturile principalelor elemente de aliere, urmate de litera *T* (prescurtare de la *turnate*).

Bronzurile cu aluminiu deformabile sunt destinate prelucrării prin deformare plastică la rece sau la cald şi se utilizează în construcţiile navale şi de avioane, în instalaţiile electrotehnice şi energetice, precum şi în instalaţiile chimice şi de apă.

În tabelul 4.9 se prezintă mărcile standardizate (SR ISO 428:1996), notarea lor făcându-se ca în cazurile anterioare, prin simbolurile şi conţinuturile principale-

Tabelul 4.6. **Bronzuri turnate în piese**

Marca aliajului	Compoziția chimică [%]					Impurități [%]													Procedeul de turnare	Caracteristici mecanice			Domenii de utilizare
	Sn	Zn	Pb	Ni	Cu	Zn	Pb	Sb	Fe	Al	S	Bi	Mg	As	Mn	Ni	P	Total		Rm [N/mm^2]	A [%]	HB	
CuSn14	12,8 – 15	-	-	-	Rest	0,8	1,1	0,2	0,25	0,02	0,1	0,01	0,01	0,15	0,2	1,0	0,1	1,5 (fără Ni, Pb)	N	220	2	75	Organe de mașini supuse la uzură, lagăre pentru mașini-unelte, piese de aparatură hidraulică supuse la presiuni mari
																			C	230	1	80	
CuSn 12	10,8 -13	-	-	-	Rest	0,8	1,1	0,1	0,25	0,02	0,1	0,01	0,01	0,15	0,2	1,0	0,1	1,5 (fără Ni, Pb)	N	220	7	80	Cuplaje, roți melcate, roți dințate elicoidale, piulițe pentru șuruburi conducătoare
																			C	250	5	90	
CuSn12Ni	10,8 -13	-	-	1,5-2,0	Rest	0,8	1,1	0,2	0,25	0,02	0,1	0,01	0,01	0,15	0,2	-	0,1	1,5 (fără Ni, Pb)	N	260	10	90	Roți melcate și elicoidale, armături, carcase, statoare și rotoare de pompe rezistente la acțiunea apei de mare
																			F	280	8	95	
																			TC	280	8	95	
CuSn10	8,8-11	-	-	-	Rest	0,8	1,1	0,1	0,25	0,02	0,1	0,01	0,01	0,15	0,2	1,0	0,1	1,5 (fără Ni, Pb)	N	220	10	65	Carcase, statoare, rotoare și palete pentru pompe și turbine care lucrează în apă de mare
																			C	230	6	75	
CuSn10Zn2	8,8-11	0,8-3,0	-	-	Rest	-	1,2	0,3	0,35	0,02	-	-	-	-	-	-	-	1,2 (fără Ni, Pb)	N	220	10	65	Cuzineți, cuplaje, roți melcate, piulițe pentru șuruburi conducătoare (toate pentru solicitări medii)
																			F	260	7	75	
																			TC	260	7	75	
CuSn9Zn5	7,8-10	2,8-7,0	-	-	Rest	-	2,2	0,3	0,35	0,02	0,1	0,01	0,01	0,15	0,2	1,0	0,1	1,2 (fără Ni, Pb)	N	220	8	65	Lagăre pentru material rulant și armături de presiune
																			F	240	5	75	
																			TC	240	5	75	
CuSn6Zn4 Pb4	4,8-7	2,3-5,5	2,5-5,5	-	Rest	-	-	0,3	0,45	0,05	0,1	0,01	0,01	0,15	0,2	1,0	0,1	1,5 (fără Ni, Pb)	N	180	8	60	Cuzineți pentru lagăre axiale și pentru cuplaje, lagăre cu alunecare și bucșe pentru bolțuri de pistoane (care lucrează până la 400 bar), armături pentru apă și vapori (până la 225ºC), carcase de pompe
																			F	200	6	70	
																			TC	200	6	70	
CuSn5Zn5 Pb5	3,8-6	3,8-6,5	3,5-6,5	-	Rest	-	-	0,3	0,45	0,05	0,1	0,01	0,01	0,15	0,2	1,0	0,1	1,5 (fără Ni, Pb)	N	180	12	60	
																			C	200	10	65	
																			F, TC	230	8	65	
CuSn4Zn4 Pb17	3,3-5,5	2,3-6	13,5-20,5	-	Rest	-	-	0,3	0,45	0,05	0,1	0,01	0,01	0,15	0,2	1,0	0,1	1,5 (fără Ni, Pb)	N	170	6	55	Piese solicitate la frecare și lagăre solicitate la sarcini relativ mici
																			TC	200	4	60	
CuSn3Zn11 Pb4	1,8-4	10,8 -13	2,5-6,5	-	Rest	-	-	0,3	0,45	0,05	0,1	0,01	0,01	0,15	0,2	1,0	0,1	1,5 (fără Ni, Pb)	N	200	10	55	Armături, bucșe
																			TC	220	7	60	

Observații: N - turnare în forme din amestec de formare; *C* - turnare în cochilii; *F* - turnare centrifugă; *TC* – turnare continuă.

Tabelul 4.7. **Bronzuri obişnuite deformabile**

Simbolul aliajului	Elementul chimic	Compoziția chimică [%]							Densitate [kg/dm^3]	Forma de livrare
		Cu	Fe	Ni	P	Pb	Sn	Zn		
a) Aliaje cupru-staniu										
CuSn2	Min. Max.	Rest	- 0,1	- 0,3	0,01 0,3	- 0,05	1,0 2,5	- 0,3	8,9	Benzi, țevi, bare, sârme
CuSn4	Min. Max.	Rest	- 0,1	- 0,3	0,01 0,4	- 0,05	3,5 4,5	- 0,3	8,9	Table, benzi, țevi, bare, sârme
CuSn5	Min. Max.	Rest	- 0,1	- 0,3	0,01 0,4	- 0,05	4,5 5,5	- 0,3	8,9	Table, benzi, țevi, bare, sârme
CuSn6	Min. Max.	Rest	- 0,1	- 0,3	0,01 0,4	- 0,05	5,5 7,5	- 0,3	8,8	Table, benzi, țevi, bare, sârme
CuSn8	Min. Max.	Rest	- 0,1	- 0,3	0,01 0,4	- 0,05	7,5 9,0	- 0,3	8,8	Table, benzi, țevi, bare, sârme
CuSn8P	Min. Max.	Rest	- 0,1	- 0,3	0,1 0,4	- 0,05	7,5 9,0	- 0,3	8,8	Benzi, țevi, bare
b) Aliaje speciale cupru-staniu										
CuSn4Zn2	Min. Max.	Rest	- 0,1	- 0,3	- -	- 0,05	3,0 5,0	1,0 3,0	8,9	Table, benzi
CuSn4Pb4 Zn3	Min. Max.	Rest	- 0,1	- -	0,01 0,5	3,5 4,5	3,5 4,5	1,5 4,5	8,9	Table, benzi, țevi, bare

lor elemente de aliere. Ele sunt simplu sau complex aliate, ultimele având proprietăţi mecanice şi chimice mai bune.

Tabelul 4.8. **Bronzuri cu aluminiu turnate în blocuri**

Marca aliajului	Compoziţia chimică [%]					Impurităţi [%]							
	Al	Fe	Ni	Mn	Cu	Pb	Sn	Zn	Mn	Fe	Ni	Si	Total
CuAl9T	8,5–10	-	-	-	Rest	0,3	0,3	0,5	0,5	1,0	0,5	0,2	0,6 (fără Mn, Fe, Ni)
CuAl9Fe3T	8,5-10,5	2,0-4,5	-	-	Rest	0,3	0,5	0,3	0,4	-	0,1	0,1	0,8 (fără Sn)
CuAl10Fe3T	9,0-11,0	2,0-4,0	-	-	Rest	0,2	0,3	0,5	1,0	-	2,5	0,2	0,5 (fără Mn, Ni)
CuAl9Fe5Ni5T	8,5-10,7	4,0-6,0	4,0-6,5	max 1,5	Rest	0,3	0,3	0,3	-	-	-	0,1	0,5
CuAl9Mn2T	8,0-10	-	-	1,5-2,5	Rest	0,3	0,3	1,5	-	1,4	1,4	0,2	2,4 (fără Ni)
CuAl9Fe2T	9,0-10,5	2,0-3,0	-	-	Rest	0,2	0,3	0,5	-	-	-	0,2	0,5

b) - Bronzul cu nichel are culoarea roz, până la conţinuturi ale nichelului de 15% şi tinde spre alb, pe măsura creşterii conţinutului de nichel, având un foarte bun luciu metalic. Se caracterizează printr-o bună rezistenţă la rupere, o foarte bună alungire, sunt maleabile şi rezistente la coroziune (fig.4.7).

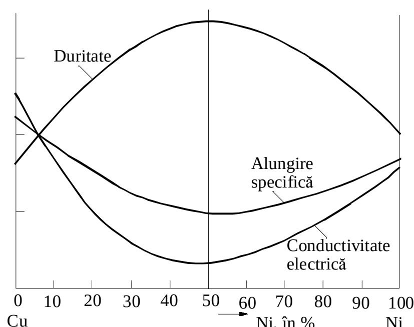


Fig. 4.7. Variaţia caracteristicilor mecanice ale bronzului cu nichel în funcţie de conţinutul de nichel.

După destinaţie bronzurile cu nichel pot fi:

a) - De construcţie, având o bună rezistenţă la coroziune şi fiind livrate sub formă de semifabricate deformate plastic (table, benzi, ţevi, sârme sau piese forjate), din care se confecţionează diverse piese (armături de apă dulce şi de abur, piese de mecanică fină, de artă şi pentru aparatură medicală şi telefonică).

b) - Electrotehnice, având o bună rezistivitate electrică şi fiind utilizate fie pentru rezistenţe de precizie (aparate electrice de măsură, rezistenţe-etalon) sau ale reostatelor de pornire şi reglare, fie pentru aparatele electrice de încălzire. Acestea sunt:

- *constantanul* conţine 55…60% Cu, 40…45% Ni şi 1…2% Mn, este ductil şi se poate trefila, suda şi lipi. Are o rezistenţă electrică mare şi se utilizează la fabricarea termocuplurilor pentru măsurarea temperaturilor până la 700 ºC, precum şi a rezistenţelor electrice pentru încălzire;

- *nichelina* conţine 67% Cu, 30% Ni şi 2…3% Mn, se topeşte la 1180 ºC, are rezistivitatea electrică mai mică decât a constantanului şi se utilizează la con-

Tabelul 4.9. **Bronzuri cu aluminiu deformabile**

Simbolizare	Elementul chimic	Compoziția chimică [%]											Densitate [kg/dm³]	Forma de livrare
		Cu	Al	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Sn	Si	As	Mg		
a) Aliaje cupru-aluminiu														
CuAl 5	Min. Max.	Rest	4,0 6,5	- 0,5	- 0,5	- 0,8	- 0,1	- 0,5	- -	- -	- 0,4	- -	8,2	Table pentru cazane, benzi, țevi, bare, sârme
CuAl 7	Min. Max.	Rest	6,5 7,5	- 0,5	- 0,5	- 0,8	- 0,1	- 0,5	- -	- -	- -	- -	7,9	Table, țevi de uz general, bare, sârme, piese forjate
CuAl 8	Min. Max.	Rest	7,5 9,0	- 0,5	- 0,5	- 0,8	- 0,1	- 0,5	- -	- -	- -	- -	7,8	Table, țevi de uz general, sârme, piese forjate
b) Aliaje speciale cupru-aluminiu														
CuAl7Fe3 Sn	Min. Max.	Rest	6,0 8,0	1,5 3,5	- 1,0	- 1,0	- 0,05	- 0,5	0,15 0,50	- -	- -	- -	7,7	Table pentru cazane, benzi, țevi, bare, sârme
CuAl7Si2	Min. Max.	Rest	6,0 7,6	- 0,80	- 0,10	- 0,25	- 0,05	- 0,50	- 0,20	1,5 2,4	- -	- -	7,7	Table de uz general, bare
CuAl8Fe3	Min. Max.	Rest	6,5 8,5	1,5 3,5	- 1,0	- 1,0	- 0,05	- 0,5	- -	- -	- -	- -	7,7	Table pentru cazane, bare
CuAl9Fe4 Ni4	Min. Max.	Rest	8,0 11,0	2,5 4,5	- 3,0	2,5 5,0	- 0,1	- 0,5	- 0,2	- 0,1	- -	- -	7,6	Benzi de uz general, bare
CuAl9Mn2	Min. Max.	Rest	8,0 10,0	- 1,5	1,5 3,0	- 0,8	- 0,05	- 0,5	- -	- -	- -	- -	7,5	Bare, piese forjate
CuAl9Ni3 Fe2	Min. Max.	Rest	8,0 9,5	1,0 3,0	- 2,5	1,5 4,0	- 0,05	- 0,2	- 0,2	- 0,1	- -	- 0,05	7,5	Table pentru cazane, bare, piese forjate
CuAl10Fe3	Min. Max.	Rest	8,5 11,0	2,0 4,0	- 3,5	- 1,0	- 0,05	- 0,5	- -	- -	- -	- -	7,6	Bare, profiluri extrudate, piese forjate
CuAl10Ni5 Fe4	Min. Max.	Rest	8,5 11,0	2,0 5,0	- 1,5	4,0 6,0	- 0,05	- 0,5	- -	- -	- -	- -	7,6	Table pentru cazane, țevi de uz general, bare, profiluri extrudate, piese forjate

fecţionarea rezistenţelor electrice pentru încălzire sau pentru reostate de pornire şi reglare.

În tabelul 4.10 se prezintă bronzurile cu nichel standardizate în România (SR ISO 429:1994), notarea lor făcându-se după regulile cunoscute.

c) - Bronzul cu nichel şi zinc conţine 45…65% Cu, 10…18 Ni, şi restul Zn (câteva mărci conţin şi 1…2% Pb).

A fost descoperit de metalurgii francezi P.L. Maille şi J.Chorier, de unde şi denumirea de *maillechort* (se pronunţă *maişort*). Se mai numeşte *alpacá* sau *argentan*, precum şi *melchior*, ultima denumire întâlnindu-se în limba rusă. Are o culoare galben-albă, densitatea de 8,5…8,8 kg/dm^3 şi se topeşte la 980…1200 ºC. Se caracterizează prin foarte bune proprietăţi mecanice, asociate cu o remarcabilă rezistenţă la coroziune în atmosfera ambiantă, apă dulce şi de mare, vapori condensaţi, gaze uscate, soluţii bazice şi acizi organici. În general prezintă bune proprietăţi de deformare plastică la cald şi la rece. Se utilizează la confecţionarea arcurilor, tacâmurilor, instrumentelor medicale, bijuteriilor argintate, precum şi a unor piese de mecanică fină şi a tuburilor de condensare. Aliajul se poate şi turna, iar pentru mărirea aşchiabilităţii se adaugă mici cantităţi de plumb.

În tabelul 4.11 se prezintă bronzurile cu nichel şi zinc standardizate în România (SR ISO 430:1995), cu compoziţiile chimice şi formele de livrare.

d) - Bronzul cu beriliu este un aliaj al cuprului cu 0,5…2% Be. Pentru îmbunătăţirea proprietăţilor se adaugă cobalt şi nichel (până la 0,6%), iar pentru îmbunătăţirea aşchiabilităţii, plumb (până la 0,6%). Are caracteristici mecanice foarte bune (rezistenţă la rupere, alungire relativă, rezistenţă la oboseală, duritate), este rezistent la coroziune, se sudează şi se prelucrează bine prin deformare plastică şi prin aşchiere, dar este foarte scump. Se utilizează la fabricarea unor arcuri, contacte electrice arcuite, diafragme, electrozi de sudură, piese de ceasornicărie. Întrucât prin lovire nu dă scântei, se utilizează la confecţionarea unor scule utilizate în minele grizutoase (dălţi, ciocane, cleşti).

În tabelul 4.12 sunt prezentate bronzurile cu beriliu standardizate în România (SR ISO 1187:1996). Tot în acest standard sunt prezentate bronzurile cu siliciu şi mangan, aliajele cuprului cu elementele menţionate fiind denumite *aliaje de cupru speciale deformabile*. În tabel sunt prezentate şi caracteristicile electrice ale bronzurilor, la temperatura de 20 ºC.

e) - Bronzul cu siliciu mai conţine, pe lângă cupru şi siliciu, nichel şi mangan pentru îmbunătăţirea proprietăţilor mecanice şi a rezistenţei la coroziune. Are proprietăţi mecanice şi de antifricţiune foarte bune, o bună plasticitate la cald şi la rece, este rezistent la coroziunea atmosferică, a apei de mare şi a gazelor uscate. Datorită elasticităţii ridicate, se utilizează la fabricarea arcurilor şi elementelor elastice. Se poate turna, se sudează şi se lipeşte bine.

f) - Bronzul cu mangan are o înaltă plasticitate, o bună rezistenţă la coroziune şi capacitatea de a menţine neschimbate caracteristicile mecanice şi la temperaturi înalte, drept pentru care se utilizează la confecţionarea unor piese de maşini solicitate termic şi mecanic.

Aliajul cuprului cu circa 12% mangan şi 4% nichel se numeşte *manganin* şi se caracterizează printr-o rezistivitate electrică foarte mare (ρ=0,43 $\Omega\cdot$mm^2/m) şi un

Tabelul 4.10. **Bronzuri cu nichel**

Simbolizare	Elementul chimic	Compoziția chimică [%]									Densitate [kg/dm^3]	Forma de livrare
		Cu	C	Fe	Mn	Ni	Pb	S	Sn	Zn		
CuNi9Sn2	Min. Max.	Rest	- -	- 0,3	- 0,3	8,5 10,5	- 0,05	- -	1,8 2,8	- 0,5	8,9	Benzi pentru arcuri, sârme
CuNi25	Min. Max.	Rest	- 0,05	- 0,3	- 0,5	24,0 26,0	- 0,02	- 0,02	- 0,03	- 0,5	8,9	Table, benzi, sârme
CuNi10Fe1 Mn	Min. Max.	Rest	- 0,05	1,0 2,0	0,5 1,0	9,0 11,0	- 0,02	- 0,05	- 0,03	- 0,5	8,9	Table de uz general şi pentru cazane, benzi, țevi de uz general şi pentru condensatoare, bare, piese forjate
CuNi30 Mn1Fe	Min. Max.	Rest	- 0,06	0,4 1,0	0,5 1,5	29,0 32,0	- 0,02	- 0,06	- 0,03	- 0,5	8,9	Table de uz general şi pentru cazane, benzi, țevi de uz general şi pentru condensatoare, bare
CuNi30 Fe2Mn2	Min. Max.	Rest	- 0,06	1,5 2,5	1,5 2,5	29,0 32,0	- 0,02	- 0,06	- 0,03	- 0,5	8,9	Țevi pentru condensatoare
CuNi44 Mn1	Min. Max.	Rest	- 0,05	- 0,5	0,5 2,5	43,0 45,0	- 0,01	- 0,05	- 0,01	- 0,2	8,9	Benzi, sârme

Tabelul 4.11. **Bronzuri cu nichel şi zinc**

Simbolizare	Elementul chimic	Compoziția chimică [%]						Densitate [kg/dm³]	Forma de livrare
		Cu	Ni	Pb	Fe	Mn	Zn		
a) Aliaje cupru-nichel-zinc fără plumb									
CuNi18Zn20	Min. Max.	60,0 64,0	17,0 19,0	- 0,5	- 0,3	- 0,5	Rest	8,8	Table şi benzi de uz general, benzi pentru arcuri, țevi de uz general, bare, sârme
CuNi18Zn27	Min. Max.	53,0 56,0	17,0 19,0	- 0,5	- 0,3	- 0,5	Rest	8,7	Table şi benzi de uz general, benzi pentru arcuri, bare, sârme
CuNi15Zn21	Min. Max.	62,0 66,0	14,0 16,0	- 0,5	- 0,3	- 0,5	Rest	8,7	Table şi benzi de uz general, țevi de uz general, bare, sârme
CuNi12Zn24	Min. Max.	62,0 66,0	11,0 13,0	- 0,5	- 0,3	- 0,5	Rest	8,7	Table şi benzi de uz general, benzi pentru arcuri, țevi de uz general, bare, sârme
CuNi12Zn29	Min. Max.	57,0 61,0	11,0 13,5	- 0,5	- 0,3	- 0,5	Rest	8,6	Table şi benzi de uz general, benzi pentru arcuri
CuNi10Zn27	Min. Max.	61,0 65,0	9,0 11,0	- 0,5	- 0,3	- 0,5	Rest	8,6	Table şi benzi de uz general
b) Aliaje cupru-nichel-zinc cu plumb									
CuNi18Zn19Pb1	Min. Max.	59,0 63,0	17,0 19,0	0,5 1,5	- 0,3	- 0,7	Rest	8,8	Benzi de uz general, bare, sârme
CuNi10Zn28Pb1	Min. Max.	59,0 63,0	9,0 11,0	1,0 2,0	- 0,3	- 0,7	Rest	8,6	Benzi de uz general, bare,
CuNi10Zn42Pb2	Min. Max.	44,0 48,0	9,0 11,0	1,0 2,5	- 0,3	- 0,5	Rest	8,5	Profiluri extrudate, piese forjate

Tabelul 4.12. **Aliaje de cupru speciale deformabile**

Simbolizare	Elementul chimic	Compoziția chimică [%]									Densitatea [kg/dm³]	Caracteristici electrice				Forma de livrare
		Cu	Be	Co	Fe	Mn	Ni	Pb	Si	Zn		Rezistivitatea masică [Ωg/m²] (max.)	Rezistivitatea volumică [Ωmm²/m] (max.)	Conductivitate minimă [m/Ωmm²]	Conductivitate minimă IACS [%]	
CuBe1,7	Min. Max.	Rest	1,6 1,8	1) -	1) -	- -	1) -	- -	- -	- -	8,4	0,70	0,083	12	21	Table și benzi de uz general, benzi pentru arcuri, țevi de uz general, bare, sârme
CuBe2	Min. Max.	Rest	1,8 2,1	1) -	1) -	- -	1) -	- -	- -	- -	8,3	0,69	0,083	12	21	Table de uz general, benzi pentru arcuri, țevi de uz general, bare, sârme, piese forjate
CuBe2Pb	Min. Max.	Rest	1,8 2,0	2) -	2) -	- -	2) -	0,2 0,6	- -	- -	8,3	0,69	0,083	12	21	Bare
CuCo2Be	Min. Max.	Rest	0,4 0,7	2,0 2,8	3) -	- -	3) -	- -	- -	- -	8,8	0,33716	0,083314	26,10	45	Benzi de uz general, bare, sârme, profiluri extrudate și trase
CuNi2Be	Min. Max.	Rest	0,2 0,6	- -	- -	- -	1,4 2,0	- -	- -	- -	8,8	0,337	0,038	26	45	Benzi de uz general, bare, sârme, profiluri extrudate și trase
CuNi1Si	Min. Max.	Rest	- -	- -	- -	- -	1,0 1,6	- -	0,4 0,7	- -	8,8	0,44	0,005	20	35	Benzi de uz general, bare, sârme
CuNi2Si	Min. Max.	Rest	- -	- -	- -	- -	1,6 2,5	- -	0,5 0,8	- -	8,8	0,519	0,059	17	29	Benzi de uz general, bare, sârme
CuPb1	Min. Max.	Rest	- -	- -	- -	- -	- -	0,8 1,5	- -	- -	8,9	0,160	0,018	55	95	Bare
CuSi1	Min. Max.	Rest	- -	- -	- 0,8	- 0,7	- -	- 0,05	0,8 2,0	- 1,5	8,8	0,968	0,11	9	16	Table pentru cazane, țevi de uz general, bare, sârme
CuSi3Mn	Min. Max.	Rest	- -	- -	- 0,3	0,7 1,5	- 0,3	- 0,03	2,7 3,5	- 0,5	8,6	2,82	0,33	3	5	Table pentru cazane, benzi și țevi de uz general, bare, sârme, piese forjate

Observații: 1) – Co + Ni = 0,20 … 0,60; Co + Ni + Fe = 0,20 … 0,60 2) – Co + Ni ≤ 0,40 %; Co + Ni + Fe ≤ 0,60 % 3) – Ni + Fe ≤ 0,50%

coeficient de temperatură al rezistivităţii electrice foarte mic (α=5…8·10^{-6}), utilizându-se la confecţionarea rezistenţelor electrice de precizie. Tot din această categorie fac parte *izabelina* (84% Cu, 13% Mn şi 3% Al) şi *novoconstantanul* (82,5% Cu, 12% Mn, 4% Fe şi 1,5% Al), folosite la fabricarea reostatelor.

g) - Bronzul cu plumb conţine 4...17%Pb, precum şi Sn, Ni şi Zn, pentru îmbunătăţirea proprietăţilor. Plumbul micşorează rezistenţa la rupere, alungirea relativă şi elasticitatea, dar îmbunătăţeşte aşchiabilitatea şi proprietăţile antifricţiune. Ca urmare, se utilizează la confecţionarea lagărelor cu presiune specifică mare (la turbine, locomotive, pompe şi maşini-unelte). Întrucât la solidificare apare pericolul segregării, aceste bronzuri trebuie turnate centrifugal sau sub presiune.

Notarea lor (STAS 1512-88) cuprinde simbolul chimic al metalului de bază, urmat de simbolurile principalelor elemente de aliere şi conţinuturile lor medii, în procente. În tabelul 4.13 sunt prezentate aliajele cupru-plumb-staniu turnate în piese (compoziţia chimică, caracteristicile mecanice şi domeniile de utilizare) standardizate în România.

h) - Bronzul cu argint conţine 0,02…0,28% Ag şi se prelucrează prin deformare plastică sub formă de bare şi benzi utilizate în industriile electronică şi electrotehnică, precum şi la locomotivele Diesel electrice.

Notarea lor cuprinde simbolurile chimice ale cuprului şi argintului, conţinutul mediu al argintului, în procente şi, uneori, litera *R* (în cazul aliajelor obţinute din materiale refolosibile). În tabelul 4.14 sunt prezentate bronzurile cu argint standardizate în ţara noastră (STAS 11527-88), cu compoziţiile chimice şi domeniile de utilizare.

i) - Bronzul cu crom (nestandardizat în România) conţine 0,5…1% Cr şi începe să fie utilizat în industrie datorită asocierii foarte bune a proprietăţilor mecanice şi electrice, îndeosebi în stare turnată, călită şi îmbătrânită. Se prelucrează bine şi prin deformare plastică la cald (laminare şi matriţare la 800…900 °C). Se utilizează la fabricarea electrozilor de sudură, a pieselor de întrerupătoare electrice supuse uzurii prin frecare, a pieselor conducătoare de curent care au şi rolul de arcuri, precum şi a tuburilor electronice, conductoarelor pentru linii de înaltă tensiune şi cuzineţilor.

j) - Bronzul grafitat (nestandardizat în România) conţine cupru, staniu şi 2…5% grafit şi se obţine prin metalurgia pulberilor. Pulberea de cupru se obţine prin rafinare electrolitică, cea de staniu prin rafinare electrolitică sau pulverizare cu aer, iar cea de grafit prin măcinare. Pulberile se amestecă în anumite proporţii, se presează în piese şi se sinterizează, sinterizarea fiind operaţia de bază a procesului. Ea se realizează în două etape. În prima etapă, piesele se încălzesc la 400 °C într-un mediu reducător (hidrogen), pentru topirea staniului şi solubilizarea lui în cupru, iar în etapa a doua, încălzirea se face la 800 °C, pentru formarea soluţiei solide. Urmează apoi calibrarea pieselor şi impregnarea cu ulei, la 110…120 °C.

În acest mod se confecţionează lagărele poroase care au proprietăţi autolubrifiante, prin impregnarea porilor rezultaţi după sinterizare (circa 15…30%) cu ulei mineral. Astfel de lagăre se întâlnesc la autovehicule, maşini-unelte, maşini textile, maşini agricole şi motoare electrice, având o durată de funcţionare fără ungere suplimentară, de câteva mii de ore.

Tabelul 4.13. **Aliaje cupru-plumb-staniu turnate în piese**

Simbolizare	Compoziția chimică [%]					Impurități [%]						Procedeul de turnare	Caracteristici mecanice			Densitatea [kg/dm^3]	Domenii de utilizare
	Pb	Sn	Ni (max.)	Zn (max.)	Cu	P	Fe	Si	Al	Sb	Total		Rm [N/mm^2]	A [%]	HB		
CuPb15Sn8	13,0 – 17,0	7,0-9,0	2,0	3,0	Rest	0,10	0,25	0,01	0,01	0,50	0,5 exclusiv Sb	N	170	7	55	9,1	Lagăre rezistente la coroziunea H_2SO_4, lagăre pentru industria minieră și lagăre monometalice care lucrează în condiții slabe de ungere și presiuni specifice mari.
												F, C	220	6	60		
CuPb10Sn10	8,0-11,0	9,0-11,0	1,5	1,0	Rest	0,05	0,25	0,02	0,01	0,50	0,35 exclusiv Sb	N	170	7	65	9,0	Lagăre cu proprietăți autolubrifiante și rezistențe la coroziune, lagăre cu alunecare pentru calandre, vehicule, laminoare, lagăre cu cuzineți pentru bolțuri de pistoane, bucșe pentru roți motoare și discuri de frână.
												F	210	6	70		
												TC	210	6	70		
CuPb5Sn10	4,0-6,0	9,0-11,0	1,5	2	Rest	0,05	0,25	0,02	0,01	0,35	0,35	N	240	15	70	8,7	Lagăre utilizate la sarcini reduse și viteze medii și armături rezistente la acizi.
												C	240	12	80		
												TC	240	12	80		

Observații: N – turnare în forme din amestec de formare; *F* – turnare centrifugă; *C* – turnare sub presiune; *TC* – turnare continuă.

Tabelul 4.14. **Bronzuri cu argint**

Simbolizare	Mod de obținere	Compoziția chimică [%]															Domenii de utilizare
		Elemente de aliere		Impurități (maximum)													
		Ag	Cu+Ag	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	O_2	Zn	Bi	P	Al	Be+Te	
CuAg0,05	Prin retopirea catozilor de cupru şi aliere cu argint	0,02-0,08	99,97	0,002	0,002	0,004	0,001	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003	0,001	0,002	-	-	Bare turnate continuu pentru industriile electronică şi electrotehnică
CuAg0,07		0,04-0,1	99,97	0,002	0,002	0,004	0,001	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003	0,001	0,002	-	-	Plăci de cristalizatoare
CuAg0,1		0,08-0,12	99,97	0,002	0,002	0,004	0,001	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003	0,001	0,002	-	-	Benzi pentru industria electrotehnică
CuAg0,13		0,08-0,18	99,97	0,002	0,002	0,004	0,001	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003	0,001	0,002	-	-	Bare turnate continuu pentru industriile electronică şi electrotehnică
CuAg0,23		0,18-0,28	99,97	0,002	0,002	0,004	0,001	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003	0,001	0,002	-	-	
CuAg0,24R	Prin retopirea în cuptor cu flacără directă a materialelor refolosibile	0,20-0,28	99,70 Cu	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,020	0,005	0,002	-	0,002	0,005	Piese pentru locomotive Diesel electrice şi maşini electrice
CuAg0,1R		0,08-0,12	99,83 Cu	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,020	0,005	0,002	-	0,002	0,005	

4.3. Aluminiul şi aliajele aluminiului

4.3.1. Aluminiul

Aluminiul este cel mai răspândit metal din natură, reprezentând 7,51% din scoarța terestră, şi al treilea element chimic, după oxigen şi siliciu. Numele său vine de la cuvântul latin *alumen* care înseamnă alaun sau piatră-acră, un sulfat dublu de aluminiu şi potasiu utilizat ca astringent. Dintre savanții care au făcut cercetări pentru obținerea aluminiului îi amintim pe Oersted[1] şi Wöhler (vezi nota de la pagina 18). Wöhler reia cercetările lui Oersted şi în 1827 obține 30g aluminiu pur dar, de abia în 1854, Saint-Claire Deville[2] obține o cantitate industrială de aluminiu, combinând clorura de aluminiu cu sodiu. În anul 1886 inginerul francez Héroult[3] şi chimistul american Hall[4] descoperă, independent unul de altul, procedeul de obținere a aluminiului din bauxită, prin electroliză, care se utilizează şi astăzi.

Aluminiul nu se află în stare nativă în scoarța terestră, ci numai sub formă de combinații chimice (oxizi şi alumino-silicați). Ca minereuri de aluminiu se amintesc: bauxita, alunitul, nefelinul, argila şi caolinul, toate având formule chimice complexe. Peste 90% din producția mondială de aluminiu se extrage din bauxită care se exploatează la conținuturi minime de 30…50% Al_2O_3. Zăcăminte importante de bauxită se găsesc în Australia, Guineea, Brazilia, Jamaica, Surinam, Ghana şi Iugoslavia, iar în țara noastră, în Munții Pădurea Craiului (Bihor) şi la Ohaba-Ponor (Hunedoara).

Aluminiul nu se poate extrage direct din minereuri. Pentru început se obține *alumina* (Al_2O_3) care se prezintă sub formă de praf alb, foarte fin. Obținerea aluminei din minereuri se face prin procedee alcaline, acide, combinate şi electrotermice. Varietatea acestor procedee este determinată de numărul mare de minereuri de aluminiu şi de cantitatea impurităților din minereuri. Procesul

---

[1] *Hans-Christian OERSTED* (1777-1851) este fizician şi chimist danez. A descoperit efectul magnetic al curentului electric (1820) care a stat la baza electromagnetismului, iar în 1825 a obținut $AlCl_3$. Bazat pe presupunerea că potasiul este mai activ decât aluminiul, a amestecat clorura de aluminiu cu amalgam de potasiu dar, după cercetări înfrigurate, a înțeles că n-a obținut aluminiul pur şi a renunțat.

[2] *Henri SAINTE-CLAIRE DEVILLE* (1818-1881) a fost un chimist francez care a realizat primul procedeu industrial de obținere a aluminiului. De asemenea, împreună cu H. Debray, utilizează suflătorul oxihidric pentru topirea platinei în cantități mari. A elaborat aliajul platină-iridiu din care s-au confecționat etaloanele pentru metru şi kilogram, a inventat cuptorul electric şi a studiat disocierea parțială a apei, a bioxidului de carbon şi a bioxidului de sulf la temperaturi înalte, constatând că fenomenul este reversibil.

[3] *Paul-Louis-Toussaint HÉROULT* (1863-1914) - chimist francez care, pe lângă descoperirile procedeului de electroliză a aluminei, a avut contribuții şi în metalurgia oțelului. În 1900 a inventat cuptorul electric cu arc cu vatră neconducătoare, care îi poartă numele.

[4] *Charles- Martin HALL* (1863-1914) - chimist american care a brevetat, independent de Héroult, procedeul de obținere a aluminiului prin electroliza aluminei dizolvată în criolit topit. Patentul a fost aplicat în 1888 la uzina de aluminiu din Pittsburgh (SUA).

preponderent rămâne cel alcalin, numit şi *procedeul Bayer*[5] . Întrucât alumina are o temperatură de topire foarte ridicată (2050 ºC), ea se amestecă, în vederea electrolizei, cu criolit (Na_3AlF_6), fluorură de aluminiu (Al_3F) şi fluorură de calciu (CaF_2), acest amestec topindu-se la 950...1000 ºC. Prin electroliză se obţine aluminiu brut, cu puritatea de 99,5…99,85% care este rafinat termic, prin insuflare de clor, şi electrolitic, având în final o puritate de 99,99%.

Aluminiul face parte din grupa a III-a secundară a sistemului periodic al elementelor, având numărul atomic 13, masa atomică 26,98 şi volumul atomic $10\cdot10^{-6}$ m^3/mol. Este un metal uşor (ρ=2,71·10^3 kg/m^3), de culoare albă-argintie, maleabil şi ductil, cu temperatura de topire la 658,6 ºC, temperatura de fierbere la 2207 ºC, bun conducător de căldură (c_p=903,2 J/kg·K la 25 ºC) şi de electricitate (σ =38,16·10^6 S/m, ρ=0,0262 μΩ·m). Conductibilităţile termică şi electrică sunt influenţate de conţinutul de impurităţi şi de procedeul de prelucrare (turnare sau deformare plastică). Este uşor paramagnetic, cu susceptibilitate magnetică pozitivă.

Din punct de vedere chimic, are o mare afinitate faţă de oxigen cu care se combină, formând o peliculă protectoare de Al_2O_3. În contact cu alte metale şi în prezenţa umezelii se distruge repede prin coroziune electrochimică. Prezintă o mare rezistenţă la acţiunea acizilor azotic şi sulfuric, dar reacţionează cu hidroxizii alcalini şi cu halogenii. Datorită caracterului său electropozitiv, din care rezultă şi marea lui afinitate pentru oxigen, aluminiul poate descompune, la temperaturi înalte, aproape toţi oxizii metalici, fapt pentru care este utilizat ca dezoxidant la elaborarea oţelului şi a altor aliaje.

Caracteristicile mecanice ale aluminiului sunt influenţate de impurităţile pe care le conţine, procedeul de prelucrare şi tratamentul termic aplicat şi sunt prezentate în tabelul 4.15.

Tabelul 4.15. **Proprietăţile mecanice ale aluminiului**

Puritatea, [%]	Starea	Caracteristici mecanice					
		R_m [N/mm^2]	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	A_5 [%]	KCU [N·m/cm^2]	E [N/mm^2]	HB [N/mm^2]
99,999	Recopt	52	-	62	-	-	110-120
99,700	Recopt	80	50	40	140	7200	200
	Semiecruisat	150	120	5-10	-	-	350
99,500	Recopt	86	40	42	-	-	200
	Semiecruisat	110	100	14	-	-	290
	Ecruisat	180	150	5	-	-	470

Din punct de vedere tehnologic, aluminiul se prelucrează bine prin turnare şi prin deformare plastică, se sudează şi se lipeşte (lipire moale), dar are o aşchiabilitate redusă (aşchiile se lipesc de sculă). În tabelul 4.16 se prezintă principalele proprietăţi tehnologice ale aluminiului.

Aluminiul utilizat în industrie trebuie să conţină cât mai puţine impurităţi, cele mai întâlnite fiind fierul şi siliciul. În funcţie de modul de obţinere şi de com-

[5]*Karl- Joseph BAYER* (1847-1901) - chimist german care a pus la punct procedeul care îi poartă numele, de obţinere a aluminei în stare pură din bauxită (1880).

Tabelul 4.16. **Proprietăţile tehnologice ale aluminiului**

Turnare			Deformare plastică		Tratament termic		
Temperatura de turnare [°C]	Contracţia la turnare [%]	Dilatarea la topire [%]	Temperatura de prelucrare la cald [°C]	Gradul maxim de deformare [%]	Temperatura de recoacere [°C]	Temperatura de revenire [°C]	Temperatura de recristalizare [°C]
710-730	1,7	6,5	350-450	75-90	370-400	150	150-200

poziţia chimică, aluminiul poate fi *tehnic primar*, *de înaltă puritate* şi *extrapur*.

În tabelul 4.17 este prezentată compoziţia chimică a mărcilor de aluminiu pentru semifabricate deformate plastic (SR EN 573-3:1995). Simbolizarea este formată din literele *EN* (standard european) urmate de litera *A* (prescurtare de la *aluminiu*) şi *W* (produse obţinute prin deformare plastică), o liniuţă şi un număr format din patru cifre care reprezintă compoziţia chimică. Prima cifră (1) arată conţinutul minim de aluminiu (99,00 % sau mai mare), a doua indică prezenţa unor elemente de aliere (*0* - aluminiu nealiat, *1…4* - elemente de aliere strict controlate), iar ultimele două cifre indică procentul de aluminiu care depăşeşte 99,00%. Uneori, la sfârşitul acestui simbol mai apare litera *A* care reprezintă o variantă naţională a mărcii, putând exista mai multe variante naţionale. Astfel, marca *EN AW-1350A*, conţine minimum 99,50% aluminiu, are trei impurităţi cu limitele modificate şi este o marcă românească. Varianta naţională trebuie să conducă la o abatere mai mică de 0,50% faţă de compoziţia chimică de bază a mărcii înregistrate în Uniunea Europeană. În cazul utilizării electrice, în simbolul chimic al mărcii apare litera *E* (*EN AW-E Al 99,7*).

Tot din această categorie face parte şi aluminiul folosit la fabricarea articolelor utilizate în contact cu alimentele (ambalaje) care trebuie să conţină minimum 99,0 % Al, restul fiind impurităţi (Fe+Si≤1,0%; Cu≤0,1…0,2%; Cr, Mg, Mn, Ni, Zn, Ti, Sn ≤ 0,10%, pentru fiecare). El se utilizează atât la confecţionarea ambalajelor, cât şi la fabricarea instrumentelor pentru prepararea şi conservarea alimentelor şi este standardizat prin SR EN 601:1996 (pentru piese turnate) şi SR EN 602:1996 (pentru piese obţinute prin deformare plastică).

Aluminiul ocupă primul loc în producţia mondială de metale neferoase şi locul al doilea după fier. Din cauza rezistenţei la rupere scăzute, este puţin utilizat în construcţii metalice, cu excepţia tâmplăriei metalice. Datorită plasticităţii foarte bune, se utilizează la confecţionarea foliilor foarte subţiri pentru ambalarea alimentelor, având în vedere că nu distruge vitaminele şi nu permite dezvoltarea microorganismelor. Având o conductibilitate electrică bună (65% din cea a cuprului), se utilizează la fabricarea conductoarelor electrice, la bobinarea electromagneţilor de mare putere, a agregatelor de sudare şi a condensatoarelor, precum şi la confecţionarea antenelor radiolocatoarelor de pe nave şi avioane şi a antenelor exterioare de televizor. Datorită rezistenţei ridicate la oxidare şi coroziune în acizi organici, se foloseşte la confecţionarea unor instalaţii utilizate în transportul şi conservarea unor produse alimentare (ulei, zahăr, bere, conserve).

Pentru că este uşor, se foloseşte în industria aeronautică, precum şi la fabricarea unor componente de vapoare şi automobile sau a unor mijloace de transport pe calea ferată (cisterne şi rezervoare). Se mai utilizează în metalurgie, ca

Tabelul 4.17. **Aluminiu pentru produse obținute prin deformare plastică**

Simbolizarea		Compoziția chimică [%]														
Numerică	Chimică	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ca	V	Alte elemente	Ti	Altele		Al (min.)
														Fiecare	Total	
EN AW-1199	EN AW-Al99,99	0,006	0,006	0,006	0,002	0,006	-	-	0,006	0,005	0,005	-	0,002	0,002	-	99,99
EN AW-1098	EN AW-Al99,98	0,010	0,006	0,003	-	-	-	-	0,015	-	-	-	0,003	0,003	-	99,98
EN AW-1198	EN AW-Al99,98(A)	0,010	0,006	0,006	0,006	-	-	-	0,010	0,006	-	-	0,006	0,003	-	99,98
EN AW-1090	EN AW-Al99,90	0,07	0,07	0,02	0,01	0,01	-	-	0,03	0,03	0,05	-	0,01	0,01	-	99,90
EN AW-1085	EN AW-Al99,85	0,10	0,12	0,03	0,02	0,02	-	-	0,03	0,03	0,05	-	0,02	0,01	-	99,85
EN AW-1080A	EN AW-Al99,80(A)	0,15	0,15	0,03	0,02	0,02	-	-	0,06	0,03	-	-	0,02	0,02	-	99,80
EN AW-1070A	EN AW-Al99,70	0,20	0,25	0,03	0,03	0,03	-	-	0,07	-	-	-	0,03	0,03	-	99,70
EN AW-1370	EN AW-EAl99,70	0,10	0,25	0,02	0,01	0,02	0,01	-	0,04	0,03	-	0,02B 0,02(V+Ti)	-	0,02	0,01	99,70
EN AW-1060	EN AW-Al99,60	0,25	0,35	0,05	0,03	0,03	-	-	0,05	-	0,05	-	0,03	0,03	-	99,60
EN AW-1050	EN AW-Al99,50	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	-	-	0,07	-	-	-	0,05	0,03	-	99,50
EN AW-1350	EN AW-EAl99,50	0,10	0,40	0,05	0,01	-	0,01	-	0,05	0,03	-	0,05B 0,02(V+Ti)	-	0,03	0,01	99,50
EN AW-1350A	EN AW-EAl99,50(A)	0,25	0,40	0,02	-	0,05	-	-	0,05	-	-	0,03(Cr+Mn +Ti+V)	-	0,03	-	99,50
EN AW-1450	EN AW-Al99,50Ti	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	-	-	0,07	-	-	-	0,10- 0,20	0,03	-	99,50
EN AW-1235	EN AW-Al99,35	0,65(Si+Fe)		0,05	0,05	0,05	-	-	0,10	-	0,05	-	0,06	0,03	-	99,35
EN AW-1200	EN AW-Al99,00	1,00(Si+Fe)		0,05	0,05	-	-	-	0,10	-	-	-	0,05	0,05	0,15	99,00
EN AW-1200A	EN AW-Al99,00(A)	1,00(Si+Fe)		0,10	0,30	0,30	0,10	-	0,10	-	-	-	-	0,05	0,15	99,00
EN AW-1100	EN AW-Al99,00Cu	0,95(Si+Fe)		0,05- 0,2	0,05	-	-	-	0,10	-	-	-	-	0,05	0,15	99,00

dezoxidant, precum şi la sudarea aluminotermică. Şi, nu în ultimul rând, aluminiul mai este utilizat la fabricarea unor articole casnice (radioreceptoare, ventilatoare, ceasuri, mobilier, oale de fiert sub presiune, aparate de fotografiat, jucării, rachete de badminton etc.), precum şi la fabricarea aliajelor.

4.3.2. Aliaje de aluminiu

Pentru îmbunătățirea unor caracteristici mecanice deficitare (rezistență la rupere, limită de curgere, duritate), aluminiul se aliază cu Cu, Mn, Si şi Mg şi uneori cu Ni, Cr, Fe şi Zn. Aceasta conduce însă la înrăutățirea ductilității şi a conductibilității electrice, şi de aceea, la fabricarea unui aliaj, se admite un compromis între proprietățile care se înrăutățesc şi proprietatea care are un scop bine definit. În general, aliajele de aluminiu au masă volumică mică, conductibilitate termică bună, caracteristici mecanice bune (uneori apropiate de cele ale oțelului) care pot fi îmbunătățite prin tratamente termice, rezistență la coroziune mare, temperatură de topire relativ joasă şi aşchiabilitate bună.

Clasificarea aliajelor de aluminiu se face după criteriile prezentate în fig.4.8.

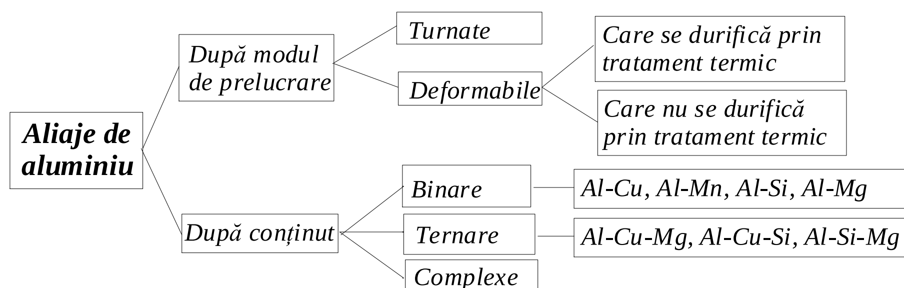


Fig. 4.8. Clasificarea aliajelor de aluminiu.

4.3.2.1. Aliaje de aluminiu turnate. Aliajele de aluminiu pentru piesele turnate trebuie să aibă fluiditate mare şi contracție mică, precum şi tendință mică de fisurare la cald şi de formare a porilor.

a) - Aliajele Al-Si conțin până la 13,5% siliciu şi se utilizează mai puțin ca aliaje binare (pentru că nu se pot durifica prin tratament termic) şi mai mult ca aliaje ternare şi complexe, când mai conțin magneziu şi cupru. Adaosul de cupru îmbunătățeşte rezistența la rupere, limita de curgere şi duritatea, precum şi fluiditatea şi aşchiabilitatea, iar adaosul de magneziu, rezistența mecanică. Mici adaosuri de nichel şi titan măresc duritatea şi rezistența mecanică. Acest aliaj se mai numeşte *silumin* sau *alpax*. El se toarnă bine şi se sudează bine cu flacără şi are o rezistență la coroziune mai mare decât a aluminiului pur. Proprietățile se îmbunătățesc prin tratamente termice (călire la 510 °C cu răcire în apă, urmată de îmbătrânire artificială la 180 °C). Se utilizează la turnarea unor piese cu pereți sub-țiri şi configurație complicată care lucrează în mediu corosiv (blocuri motoare, cartere, pistoane, chiulase, corpuri de pompe, fitinguri şi bucşe).

b) – Aliajele Al-Mg conţin până la 10% magneziu şi sunt cele mai uşoare aliaje de aluminiu. Rezistenţa mecanică este destul de bună, rezistenţa la coroziune bună, aşchiabilitatea excelentă, dar turnabilitatea este scăzută şi cu tendinţe de apariţie a defectelor de turnare. Tratamentele termice (recoacerea de omogenizare după turnare) îmbunătăţesc proprietăţile aliajului. Se utilizează în industriile aeronavală, chimică şi alimentară.

c) – Aliajele Al-Cu conţin până la 5% cupru şi sunt mai puţin utilizate pentru că se toarnă mai greu prin procedeele clasice şi au tendinţă de fisurare la solidificare. Prin adaosuri de magneziu şi titan se îmbunătăţesc proprietăţile mecanice, se tratează termic şi se prelucrează bine prin aşchiere. Se utilizează la fabricarea chiulaselor şi a pistoanelor de motor, precum şi a cuzineţilor.

d) - Aliajele Al-Zn conţin până la 6% zinc şi pentru îmbunătăţirea unor caracteristici mecanice (rezistenţă la rupere şi alungire) se mai adaugă magneziu şi cupru. Rezistenţa mecanică şi rezistenţa la coroziune sunt mai reduse, dar se elaborează uşor şi se toarnă bine.

Simbolizarea aliajelor de aluminiu pentru piese turnate se face numeric şi chimic (SR EN 1706:2000). Simbolul numeric este format din literele *EN* (standard european), urmate de litera *A* (prescurtare de la *aluminiu*) şi *C* (prescurtare de la *casting = turnat*), o liniuţă şi un număr format din cinci cifre care reprezintă compoziţia chimică. Prima cifră arată elementul principal de aliere (*2* - cupru, *4* - siliciu, *5* - magneziu, *7* - zinc). A doua cifră (de la 1 până la 8) indică modificările aliajului, a treia numărul de ordine al aliajelor din fiecare grupă, iar ultimele două cifre (*0* şi *0*) nu au o semnificaţie specială. Simbolul chimic este format din literele *EN* şi *AC* (care au aceleaşi semnificaţii), urmate de o liniuţă şi de simbolurile chimice ale aluminiului şi elementelor de aliere, trecute în ordinea descrescătoare a conţinutului lor. Simbolurile chimice ale elementelor de aliere sunt urmate de numere care exprimă conţinutul, în procente, al elementelor considerate. Dacă acest număr lipseşte, conţinutul elementelor chimice este mai mic de 1%. Uneori, simbolul chimic este urmat de o literă (*a* sau *b*) care reprezintă varianta naţională a mărcii, derivată din varianta de bază.

În tabelul 4.18 sunt prezentate compoziţiile chimice ale aliajelor de aluminiu pentru piese turnate.

Ca metode de turnare în piese a aliajelor de aluminiu se utilizează turnarea în forme temporare din amestec de formare obişnuit, turnarea în forme permanente (în cochilii) şi turnarea în forme-coji realizate cu modele uşor fuzibile. Ca urmare, şi proprietăţile mecanice ale aliajelor de aluminiu, prezentate în tabelele 4.19…4.21, sunt impuse de metodele de turnare (SR EN 1706:2000). În ceea ce priveşte tratamentele termice aplicate, semnificaţia simbolurilor din tabele este următoarele: *F* - turnare brută; *T1* - răcire controlată după solidificare şi îmbătrânire naturală; *T4* - tratament termic de punere în soluţie şi îmbătrânire naturală; *T5* - răcire controlată după turnare şi îmbătrânire artificială sau supraîmbătrânire; *T6* - tratament termic de punere în soluţie şi îmbătrânire artificială completă; *T64* - tratament termic de punere în soluţie şi subîmbătrânire.

4.3.2.2. Aliaje de aluminiu deformabile. Aliajele de aluminiu destinate obţinerii semifabricatelor prin deformare plastică (laminare, extrudare, tragere, for-

Tabelul 4.18. **Compoziții chimice ale aliajelor de aluminiu turnate**

Grupa aliajului	Simbolizarea aliajului		Compoziția chimică [%]													
	Numerică	Simbol chimic	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Altele [1)] Fiecare	Altele [1)] Total	Aluminiu
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
AlCu	EN AC-21000	EN AC-AlCu4MgTi	0,20 (0,15)	0,35 (0,30)	4,2-5,0	0,10	0,15-0,35 (0,20-0,35)	-	0,05	0,10	0,05	0,05	0,15-0,30 (0,15-0,25)	0,03	0,10	Rest
	EN AC-21100	EN AC-AlCu4Ti	0,18 (0,15)	0,19 (0,15)	4,2-5,2	0,55	-	-	-	0,07	-	-	0,15-0,30 (0,15-0,25)	0,03	0,10	Rest
AlSiMgTi	EN AC-41000	EN AC-AlSi2MgTi	1,6-2,4	0,60 (0,50)	0,10 (0,08)	0,30 - 0,50	0,45-0,65 (0,50-0,65)	-	0,05	0,10	0,05	0,05	0,05-0,20 (0,07-0,15)	0,05	0,15	Rest
AlSi7Mg	EN AC-42000	EN AC-AlSi7Mg	6,5-7,5	0,55 (0,45)	0,20 (0,15)	0,35	0,20-0,65 (0,25-0,65)	-	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05-0,25 (0,05-0,20)	0,05	0,15	Rest
	EN AC 42100	EN AC-AlSi7Mg0,3	6,5-7,5	0,19 (0,15)	0,05 (0,03)	0,10	0,25-0,45 (0,30-0,45)	-	-	0,07	"	-	0,08-0,25 (0,10-0,18)	0,03	0,10	Rest
	EN AC-42200	EN AC-AlSî7Mg0,6	6,5-7,5	0,19 (0,15)	0,05 (0,03)	0,10	0,45-0,70 (0,50-0,70)	-	-	0,07	-	-	0,08-0,25 (0,10-0,18)	0,03	0,10	Rest
AlSi10Mg	EN AC-43000	EN AC-AlSi10Mg(a)	9,0-11,0	0,55 (0,40)	0,05 (0,03)	0,45	0,20-0,45 (0,25-0,45)	-	0,05	0,10	0,05	0,05	0,15	0,05	0,15	Rest
	EN AC-43100	EN AC-AlSi10Mg(b)	9,0-11,0	0,55 (0,45)	0,10 (0,08)	0,45	0,20-0,45 (0,25-0,45)	-	0,05	0,10	0,05	0,05	0,15	0,05	0,15	Rest
	EN AC-43200	EN AC-AlSi10Mg(Cu)	9,0-11,0	0,65 (0,55)	0,35 (0,30)	0,55	0,20-0,45 (0,25-0,45)	-	0,15	0,35	0,10	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-43300	EN AC-AISi9Mg	9,0-11,0	0,19 (0,15)	0,05 (0,03)	0,10	0,25-0,45 (0,30-0,45)	-	-	0,07	-	-	0,15	0,03	0,10	Rest
	EN AC-43400	EN AC-AISi10Mg(Fe)	9,0-11,0	1,0 (0,45-0,9)	0,10 (0,08)	0,55	0,20-0,50 (0,25-0,50)	-	0,15	0,15	0,15	0,05	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
AlSi	EN AC-44000	EN AC-AlSi11	10,0-11,8	0,19 (0,15)	0,05 (0,03)	0,10	0,45	-	-	0,07	-	-	0,15	0,03	0,10	Rest
	EN AC-44100	EN AC-AlSi12(b)	10,5-13,5	0,65 (0,55)	0,15 (0,10)	0,55	0,10	-	0,10	0,15	0,10	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-44200	EN AC-AlSi12(a)	10,5-13,5	0,55 (0,40)	0,05 (0,03)	0,35	-	-		0,10	-	-	0,15	0,05	0,15	Rest

Tabelul 4.18 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
AlSi	EN AC-44300	EN AC-AlSi12(Fe)	10,5-13,5	1,0 (0,45-0,9)	0,10 (0,08)	0,55	-	-	-	0,15	-	-	0,15	0,05	0,25	Rest
	EN AC-44400	EN AC-AlSi9	8,0-11,0	0,65 (0,55)	0,10 (0,06)	0,50	0,10	-	0,05	0,15	0,05	0,05	0,15	0,05	0,15	Rest
AlSi5Cu	EN AC-45000	EN AC-AlSi6Cu4	5,0-7,0	1,0 (0,9)	3,0-,5,0	0,20-0,65	0,55	0,15	0,45	2,0	0,30	0,15	0,25 (0,20)	0,05	0,35	Rest
	EN AC-45100	EN AC-AlSi5Cu3Mg	4,5-6,0	0,60 (0,50)	2,6-3,6	0,55	0,15^0,45 (0,20-0,45)	-	0,10	0,20	0,10	0,05	0,25 (0,20)	0,05	0,15	Rest
	€N AC-45200	EN AC-AlSi5Cu3Mn	4,5-6,0	0,8 (0,7)	2,5-4,0	0,20-0,55	0,40	-	0,30	0,55	0,20	0,10	0,20 (0,15)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-45300	EN AC-AlSi5Cu1Mg	4,5-5,5	0,65 (0,55)	1,0-1,5	0,55	0,35-0,65 (0,40-0,65)	-	0,25	0,15	0,15	0,05	0,05-0,25 (0,05-0,20)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-45400	EN AC-AlSi5Cu3	4,5-6,0	0,60 (0,50)	2,6-3,6	0,55	0,05	-	0,10	0,20	0,10	0,05	0,25 (0,20)	0,05	0,15	Rest
AISi9Cu	EN AC-46000	EN AC-AISi9Cu3(Fe)	8,0-11,0	1,3 (0,6-1,1)	2,0-4,0	0,55	0,05-0,55 (0,15^0,55)	0,15	0,55	1,2	0,35	0,25	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-46100	EN AC-AISi11Cu2(Fe)	10,0-12,0	1,1 (0,45 - 1,0)	1,5-2,5	0,55	0,30	0,15	0,45	1,7	0,25	0,25	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-46200	EN AC-AISi8Cu3	7,5-9,5	0,8 (0,7)	2,0-3,5	0,15-0,65	0,05-0,55 (0,1 ^-O^)	"	0,35	1,2	0,25	0,15	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Rest
	EN AC 46300	EN AC-AlSî7Cu3Mg	6,5-8,0	0,8 (0,7)	3,0-4,0	0,20-0,65	0,30-0,60 (0,35-0,60)	-	0,30	0,65	0,15	0,10	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Rest
	EN AC 46400	EN AC-AlSi9Cu1Mg	8,3-9,7	0,8 (0,7)	0,8-1,3	0,15-0,55	0,25-0,65 (0,30-0,65)	-	0,20	0,8	0,10	0,10	0,10-0,20 (0,10-0,18)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-46500	EN AC- AlSi9 Cu3(Fe)(Zn)	8,0-11,0	1,3 (0,6-1,2)	2,0-4,0	0,55	0,05-0,55 (0,1 ^-O^)	0,15	0,55	3,0	0,35	0,25	0,25 (0,20)	0,05	0,25	Rest
	EN AC-46600	EN AC-AlSi7Cu2	6,0-8,0	0,8 (0,7)	1,5-2,5	0,15-0,65	0,35	-	0,35	1,0	0,25	0,15	0,25 (0,20)	0,05	0,15	Rest
AlSi(Cu)	EN AC-47000	EN AC-AlSi12(Cu)	10,5-13,5	0,8 (0,7)	1,0 (0,9)	0,05-0,55	0,35	0,10	0,30	0,55	0,20	0,10	0,20 (0,15)	0,05	0,25	Rest
	ENAC-^TIOO	EN AC-AlSi12Cu1(Fe)	10,5-13,5	1,3 (0,6-1,1)	0,7-1,2	0,55	0,35	0,10	0,30	0,55	0,20	0,10	0,20 (0,15)	0,05	0,25	Rest
AlSiCuNiMg	EN AC 48000	EN AC-AlSi12CuNiMg	10,5-13,5	0,7 (0,6)	0,8-1,5	0,35	0,8-1,5 (0,9-1,5)	-	0,7-1,3	0,35	-	-	0,25 (0,20)	0,05	0,15	Rest

Tabelul 4.18 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
AlMg	EN AC-51000	EN AC-AlMg3(b)	0,55 (0,45)	0,55 (0,45)	0,10 (0,08)	6,45	2,5-3,5 (2,7-3,5)	-	-	0,10	-	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-51100	EN AC-AlMg3(a)	0,55 (0,45)	0,55 (0,40)	0,05 (0,03)	0,45	2,5-3,5 (2,7-3,5)	-	-	0,10	-	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-51200	EN AC-AlMg9	2,5	1,0 (0,45-0,9)	0,10 (0,08)	0,55	8,0-10,5 (8,5-0,5)	-	0,10	0,25	0,10	0,10	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-51300	EN AC-AlMg5	0,55 (0,35)	0,55 (0,45)	0,10 (0,05)	0,45	4,5-6,5 (4,8-6,5)	-	-	0,10	-	"	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
	EN AC-51400	EN AC-AlMg5(Si)	1,5 (1,3)	0,55 (0,45)	0,05 (0,03)	0,45	4,5-6,5 (4,8-6,5)	-	-	0,10	-	-	0,20 (0,15)	0,05	0,15	Rest
AlZnMg	EN AC-71000	EN AC-AlZn5Mg	0,30 (0,25)	0,80 (0,70)	0,15-0,35	0,40	0,40-0,70 (0,45-0,70)	0,15-0,60	0,05	4,50-6,00	0,05	0,05	0,10-0,25 (0,12-0,20)	0,05	0,15	Rest

Nota 1 - Cifrele din paranteză reprezintă compoziția lingoului dacă aceasta diferă de compoziția piesei turnate.

Nota 2 - În fiecare grupă de aliaj, aliajele se prezintă în ordinea descrescătoare a tonajului de piese turnate produse în Europa.

Nota 3 - Limitele sunt exprimate ca maximum, cu excepție compozițiilor prezentate sub formă de domeniu de compoziție.

[1)] „Altele” nu include elementele de modificare sau rafinare. de exemplu Na, Sr, Sb şi P.

Tabelul 4.19. **Caracteristicile mecanice ale aliajelor de aluminiu turnate în forme temporare din amestec de formare obişnuit**

Grupa aliajului	Simbolizarea aliajului		Tratamentul termic	R_m [MPa] (min.)	$R_{p0,2}$ [MPa] (min.)	A_{50mm} [%] (min.)	HB (min.)
	Numerică	Simbol chimic					
AlCu	EN AC-21000	EN AC-AlCu4MgTi	T4	300	200	5	90
	EN AC-21100	EN AC-AlCu4Ti	T6 T64	300 280	200 180	3 5	95 85
AlSiMgTi	EN AC-41000	EN AC-AlSi2MgTi	F T6	140 240	70 180	3 3	50 85
AlSi7Mg	EN AC-42000	EN AC-AlSi7Mg	F T6	140 220	80 180	2 1	50 75
	EN AC-42100	EN AC-AlSi7Mg0,3	T6	230	190	2	75
	EN AC-42200	EN AC-AlSi7Mg0,6	T6	250	210	1	85
AlSi10Mg	EN AC-43000	EN AC-AlSi10Mg(a)	F T6	150 220	80 180	2 1	50 75
	EN AC-43100	EN AC-AlSi10Mg(b)	F T6	150 220	80 180	2 1	50 75
	EN AC-43200	EN AC-AlSi10Mg(Cu)	F T6	160 220	80 180	1 1	50 75
	EN AC-43300	EN AC-AlSi9Mg	T6	230	190	2	75
AlSi	EN AC-44000	EN AC-AlSi11	F	150	70	6	45
	EN AC-44100	EN AC-AlSi12(b)	F	150	70	4	50
	EN AC-44200	EN AC-AlSi12(a)	F	150	70	5	50
AlSi5Cu	EN AC-45000	EN AC-AlSi6Cu4	F	150	90	1	60
	EN AC-45200	EN AC-AlSi5Cu3Mn	F T6	140 230	70 200	1 <1	60 90
	EN AC-45300	EN AC-AlSi5Cu1Mg	T4 T6	170 230	120 200	2 <1	80 100
AlSi9Cu	EN AC-46200	EN AC-AlSi8Cu3	F	150	90	1	60
	EN AC-46400	EN AC-AlSi9Cu1Mg	F	135	90	1	60
	EN AC-46600	EN AC-AlSi7Cu2	F	150	90	1	60
AlSi(Cu)	EN AC-47000	EN AC-AlSi12(Cu)	F	150	80	1	50
AlMg	EN AC-51000	EN AC-AlMg3(b)	F	140	70	3	50
	EN AC-51100	EN AC-AlMg3(a)	F	140	70	3	50
	EN AC-51300	EN AC-AlMg5	F	160	90	3	55
	EN AC-51400	EN AC-AlMg5(Si)	F	160	100	3	60
AlZnMg	EN AC-71000	EN AC-AlZn5Mg	T1	190	120	4	60
1 N/mm^2 = 1 MPa							

jare) sunt preponderente faţă de cele turnate, datorită prelucrării mai uşoare şi caracteristicilor mai bune. Cu cele 155 mărci standardizate (SR EN 573-3:1995 şi SR EN 573-4:1995), constituie cea mai numeroasă grupă de materiale metalice.

Există două categorii de aliaje deformabile de aluminiu: care se durifică prin tratament termic şi care nu se durifică prin tratament termic. Din prima categorie, denumită generic *duraluminiu*, fac parte aliajele aluminiului cu magneziul, cuprul şi zincul, iar din a doua categorie, aliajele aluminiului cu manganul.

Tabelul 4.20. **Caracteristicile mecanice ale aliajelor de aluminiu turnate în cochilii**

Grupa aliajului	Simbolizarea aliajului		Tratamentul termic	R_m, [Mpa] (min.)	$R_{p0,2}$, [Mpa] (min.)	A_{50mm}, [%] (min.)	HB (min.)
	Numerică	Simbol chimic					
AlCu	EN AC-21000	EN AC-AlCu4MgTi	T4	320	200	8	95
	EN AC-21100	EN AC-AlCu4Ti	T6 T64	330 320	220 180	7 8	95 90
AlSiMgTi	EN AC-41000	EN AC-AlSi2MgTi	F T6	170 260	70 180	5 5	50 85
AlSi7Mg	EN AC-42000	EN AC-AlSi7Mg	F T6 T64	170 260 240	90 220 200	2,5 1 2	55 90 80
	EN AC-42100	EN AC-AlSi7Mg0,3	T6 T64	290 250	210 180	4 8	90 80
	EN AC-42200	EN AC-AlSi7Mg0,6	T6 T64	320 290	240 210	3 6	100 90
AlSi10Mg	EN AC-43000	EN AC-AlSi10Mg(a)	F T6 T64	180 260 240	90 220 200	2,5 1 2	55 90 80
	EN AC-43100	EN AC-AlSi10Mg(b)	F T6 T64	180 260 240	90 220 200	2,5 1 2	55 90 80
	EN AC-43200	EN AC-AlSi10Mg(Cu)	F T6	180 240	90 200	1 1	55 80
	EN AC-43300	EN AC-AlSi9Mg	T6 T64	290 250	210 180	4 6	90 80
AlSi	EN AC-44000	EN AC-AlSi11	F	170	80	7	45
	EN AC-44100	EN AC-AlSi12(b)	F	170	80	5	55
	EN AC-44200	EN AC-AlSi12(a)	F	170	80	6	55
AlSi5Cu	EN AC-45000	EN AC-AlSi6Cu4	F	170	100	1	75
	EN AC-45100	EN AC-AlSi5Cu3Mg	T4 T6	270 320	180 280	2,5 <1	85 110
	EN AC-45200	EN AC-AlSi5Cu3Mn	F T6	160 280	80 230	1 <1	70 90
	EN AC-45300	EN AC-AlSi5Cu1Mg	T4 T6	230 280	140 210	3 <1	85 110
	EN AC-45400	EN AC-AlSi5Cu3	T4	230	110	6	75
AlSi9Cu	EN AC-46200	EN AC-AlSi8Cu3	F	170	100	1	75
	EN AC-46300	EN AC-AlSi7Cu3Mg	F	180	100	1	80
	EN AC-46400	EN AC-AlSi9Cu1Mg	F T6	170 275	100 235	1 1,5	75 105
	EN AC-46600	EN AC-AlSi7Cu2	F	170	100	1	75
AlSi(Cu)	EN AC-47000	EN AC-AlSi12(Cu)	F	170	90	2	55
AlSiCuNiMg	EN AC-48000	EN AC-AlSi12CuNiMg	T5 T6	200 280	185 240	<1 <1	90 100
AlMg	EN AC-51000	EN AC-AlMg3(b)	F	150	70	5	50
	EN AC-51100	EN AC-AlMg3(a)	F	150	70	5	50
	EN AC-51300	EN AC-AlMg5	F	180	100	4	60
	EN AC-51400	EN AC-AlMg5(Si)	F	180	110	3	65
AlZnMg	EN AC-71000	EN AC-AlZn5Mg	T1	210	130	4	65
1 N/mm^2 = 1 MPa							

Tabelul 4.21. **Caracteristicile mecanice ale aliajelor de aluminiu turnate în forme-coji realizate cu modele uşor fuzibile**

Grupa aliajului	Simbolizarea aliajului		Trata-mentul termic	R_m [MPa] (min.)	$R_{p0,2}$ [MPa] (min.)	A_{50mm} [%] (min.)	HB (min.)
	Numerică	Simbol chimic					
AlCu	EN AC-21000	EN AC-AICu4MgTi	T4	300	220	5	90
AlSi7Mg	EN AC-42000	EN AC-AlSi7Mg	F	150	80	2	50
			T6	240	190	1	75
	EN AC-42100	EN AC-AlSi7Mg0,3	T6	260	200	3	75
	EN AC-42200	EN AC-AlSi7Mg0,6	T6	290	240	2	85
AlSi	EN AC-44100	EN AC-AlSi12(b)	F	150	80	4	50
AlSi5Cu	EN AC-45200	EN AC-AlSi5Cu3Mn	F	160	80	1	60
AlMg	EN AC-51300	EN AC-AlMg5	F	170	95	3	55
1 N/mm^2 = 1 MPa							

a) - Aliajele Al-Cu conţin până la 6,8% Cu, precum şi cantităţi mici de magneziu, mangan şi siliciu şi sunt cunoscute sub denumirea de *duraluminiu*, pentru că se durifică prin călire şi îmbătrânire. Călirea se face prin încălzirea materialului la 500 ºC şi răcire în apă, iar îmbătrânirea poate fi naturală, prin menţinerea materialului timp de 4…5 zile la temperatură ambiantă sau artificială, prin încălzire la 120…150 ºC timp de 3…6 ore. După călire şi îmbătrânire, proprietăţile mecanice ale duraluminiului sunt comparabile cu ale oţelului moale ($R_m \leq 50$ daN/mm^2, $Rc \leq 30$ daN/mm^2 $A_5 \leq 15\%$, HB = 70…100). Rezistenţa la coroziune este destul de mică, dar se prelucrează bine prin forjare, sudare şi aşchiere.

Duraluminiul se foloseşte la fabricarea chiulaselor şi pistoanelor de motoare, precum şi în aeronautică şi la construcţii metalice uşoare.

b) - Aliajele Al-Mn conţin până la 1,5% Mn, precum şi cantităţi mici de magneziu (până la 1,3%), pentru creşterea rezistenţei la coroziunea apei de mare şi a aerului umed. Manganul îmbunătăţeşte rezistenţa mecanică şi rezistenţa la coroziune, dar scade plasticitatea. Aceste aliaje se prelucrează bine în urma recoacerii, îndeosebi prin ambutisare, dar se utilizează şi la obţinerea tablelor, ţevilor şi a diverselor profiluri. Ele nu se durifică prin tratamente termice, dar se ecruisează prin deformare plastică la rece.

c) - Aliajele Al-Si conţin până la 13,5% Si, precum şi cantităţi mici de mangan şi magneziu, pentru îmbunătăţirea caracteristicilor mecanice. Proprietăţile mecanice se îmbunătăţesc şi prin tratamente termice (călire în apă la 510 ºC şi îmbătrânire artificială la 160…180 ºC), în cazul în care conţin şi alte elemente (magneziu şi cupru). Se utilizează îndeosebi la fabricarea tablelor şi benzilor (prin laminare), precum şi a ambalajelor utilizate în industria alimentară.

d) - Aliajele Al-Mg conţin până la 5,6% Mg şi nu se durifică prin tratamente termice. Mici adaosuri de mangan, crom, titan şi vanadiu măresc rezistenţa mecanică, rezistenţa la coroziune şi sudabilitatea aliajelor. Ele sunt mai uşoare decât aluminiul şi se prelucrează bine prin aşchiere. Se utilizează în stare recoaptă sau ecruisată, la producerea profilurilor, benzilor şi tablelor care se

utilizează la fabricarea jenților şi caroseriilor de automobile, a rezervoarelor şi suprastructurii avioanelor, precum şi în construcții navale şi în industriile chimică şi alimentară. În Franța acest aliaj este cunoscut sub numele de *duralinox*.

e) - Aliajele Al-Mg-Si, cunoscute şi sub denumirea de *avial* sau *anticorodal*, conțin până la 1,2% Mg şi 1,4% Si, precum şi cantități mici de mangan. Au rezistență mecanică medie, o bună deformabilitate la cald şi se sudează uşor. De asemenea, sunt rezistente la coroziune şi se pot îmbunătăți prin călire şi îmbătrânire. Se prelucrează îndeosebi prin extrudare, după îmbătrânire artificială.

f) - Aliajele Al-Zn conțin până la 7,5% Zn, precum şi cantități mai mici de magneziu, cupru, mangan şi zirconiu. Sunt aliaje de mare rezistență ($R_m \leq 65$ daN/mm^2, $A_5 \leq$ 8%), având şi o bună sudabilitate. Se prelucrează uşor prin extrudare.

g) - Aliajele de aluminiu diverse conțin până la 1,5% Fe, 2,5% Li, precum şi siliciu, mangan şi cupru. Sunt aliaje rezistente la cald şi se utilizează, sub forme de folii, la fabricarea schimbătoarelor de căldură sau se laminează în table.

Simbolizarea aliajelor de aluminiu deformabile se face numeric şi chimic (SR EN 573-3:1995). Simbolul numeric este format din literele *EN* (standard european), urmate de litera *A* (prescurtare de la *aluminiu*) şi *W* (produse obținute prin deformare plastică), o liniuță şi un număr format din patru cifre care reprezintă compoziția chimică. Astfel, prima cifră indică principalul element de aliere (*2* - cupru; *3* - mangan; *4* - siliciu; *5* - magneziu; *6* – magneziu şi siliciu; *7* - zinc; 8 - alte elemente), iar celelalte, prezența unor elemente de aliere. Uneori, la sfârşitul acestui simbol mai apar literele *A* şi *B* care reprezintă variante naționale ale unor mărci.

Simbolul chimic este format din literele *EN* şi *AW* (care au aceleaşi semnificații), urmate de o liniuță şi de simbolurile chimice ale aluminiului şi ale elementelor de aliere, trecute în ordinea descrescătoare a conținutului lor. Simbolurile chimice ale elementelor de aliere sunt urmate de numere care exprimă conținutul, în procente, al elementelor considerate. Dacă acest număr lipseşte, conținutul elementelor chimice este sub 1%. Literele *A*, *B*, *C*, şi *D* reprezintă variante naționale, derivate din varianta de bază.

În tabelul 4.22 sunt prezentate compozițiile chimice ale aliajelor de aluminiu deformabile standardizate în România (SR EN 573-3:1995 şi SR EN 573-4:1995).

4.3.2.3. Aliaje antifricțiune. Aliajele antifricțiune sunt aliaje cu coeficient de frecare mic, folosite la căptuşirea cuzineților pentru lagăre. Ele vor fi tratate mai amănunțit la aliajele plumbului şi staniului (vezi § 4.4.2.1 şi § 4.6.2.3).

Aliajele antifricțiune de aluminiu au structura constituită dintr-o matrice semidură (soluții solide de Al cu Cu, Si, Zn, Ni) şi incluziuni moi (de obicei Sn). Ele sunt mai dure decât cele pe bază de plumb şi staniu, suportând sarcini mai mari şi înlocuindu-le cu succes, întrucât sunt şi mai ieftine. De asemenea, există aliaje antifricțiune de aluminiu cu matrice semidură şi incluziuni dure (de Sb), recomandate pentru confecționarea cuzineților motoarelor diesel pentru autovehicule şi tractoare, lubrifiate corespunzător şi cu încărcătură medie.

Tabelul 4.22. **Compoziții chimice ale aliajelor de aluminiu deformabile**

Simbolizarea aliajului		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ga	V	Obser-vații	Ti	Altele		Al min.
Numerică	Simboluri chimice													Fie-care	Total	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
a) Aliaje Al – Cu (seria 2000)																
EN AW-2001	EN AW-AlCu5,5MgMn	0,20	0,20	5,2-6,0	0,15-0,50	0,20-0,45	0,10	0,05	0,10	-	-	0,05 Zr[15)]	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-2007	EN AW-AlCu4PbMgMn	0,8	0,8	3,3-4,6	0,50-1,0	0,40-1,8	0,10	0,20	0,8	-	-	[11)]	0,20	0,10,	0,30	Rest
EN AW-2011	EN AW-AlCu6BiPb	0,40	0,7	5,0-6,0	-	-	-	-	0,30	-	-	[5)]	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-2011A	EN AW-AlCu6BiPb(A)	0,40	0,50	4,5-6,0	-	-	-	-	0,30	-	-	[5)]	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-2014	EN AW-AlCu4SiMg	0,50-1,2	0,7	3,9-5,0	0,40-1,2	0,20-0,8	0,10	-	0,25	-	-	[6)]	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-2014A	EN AW-AlCu4SiMg(A)	0,50-0,9	0,50	3,9-5,0	0,40-1,2	0,20-0,8	0,10	0,10	0,25	-	-	0,20Zr+Ti	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-2214	EN AW-AlCu4SiMg(B)	0,50-1,2	0,30	3,9-5,0	0,40-1,2	0,20-0,8	0,10	-	0,25	-	-	[6)]	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-2017A	EN AW-AlCu4MgSi(A)	0,20-0,8	0,7	3,5-4,5	0,40-1,0	0,40-1,0	0,10	-	0,25	-	-	0,25Zr+Ti	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-2117	EN AW-AlCu2,5Mg	0,8	0,7	2,2-3,0	0,20	0,20-0,50	0,10	-	0,25	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-2618A	EN AW-AlCu2Mg1,5Ni	0,15-0,25	0,9-1,4	1,8-2,7,	0,25	1,2-1,8	-	0,8-1,4	0,15	-	-	0,25Zr+Ti	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-2219	EN AW-AlCu6Mn	0,20	0,30	5,8-6,8	0,20-0,40	0,02	-	-	0,10	-	0,05-0,15	0,10-0,25Zr	0,02-0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-2319	EN AW-AlCu6Mn(A)	0,20	0,30	5,8-6,8	0,20-0,40	0,02	-	-	0,10	-	0,05-0,15	0,10-0,25Zr[4)]	0,10-0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-2024	EN AW-AlCu4Mg1	0,50	0,50	3,8-4,9	0,30-0,9	1,2-1,8	0,10	-	0,25	-	-	[6)]	0,15	0,05	0,15	Rest
ENAW-2124	EN AW-AlCu4Mg1(A)	0,20	0,30	3,8-4,9	0,30-0,9	1,2-1,8	0,10	-	0,25	-	-	[6)]	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-2030	EN AW-AlCu4PbMg	0,8	0,7	3,3-4,5	0,20-1,0	0,50-1,3	0,10	-	0,50	-	-	0,20Bi; 0,8-1,5Pb	0,20	0,10	0,30	Rest
EN AW-2031	EN AW-AlCu2,5NiMg	0,50-1,3	0,6-1,2	1,8-2,8	0,50	0,6-1,2	-	0,6-1,4	0,20	-	-	-	0,20	0,05	0:15	Rest
EN AW-2030	EN AW-AlCu2Li2Mg1,5	0,20	0,30	1,8-2,5	0,10	1,1-1,9	0,10	-	0,25	-	-	0,04-0,16Zr[13)]	0,10	0,05	0,15	Rest

Tabelul 4.22 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
b) Aliaje Al – Mn (seria 3000)																
EN AW-3002	EN AW-AlMn0,2Mg0,1	0,08	010	0,15	0,05-0,25	0,05-0,20	-	-	0,05	-	0,05	-	0,03	0,03	0.10	Rest
EN AW-3102	EN AW-AlMn0,2	0,40	0,7	0,10	0,05-0,40	-	-	-	0,30	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
ENAW-3003	EN AW-AlMn1Cu	0,6	0,7	0,05-0,20	1,0-1,5	-	-	-	0,10	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-3103	EN AW-AlMn1	0,50	0,7	0,10	0,9-1,5	0,30	0,10	-	0,20	-	-	0,10Zr+Ti	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-3103A	EN AW-AlMn1(A)	0,50	0,7	0,10	0,7-1,4	0,30	0,10	-	0,20	-	-	0,10Zr+Ti	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-3004	EN AW-AlMn1Mgl	0,30	0,7	0,25	1,0-1,5	0,8-1,3	-	-	0,25	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-3104	EN AW-AlMn1MglCu	0,6	0,8	0,05-0,25	0,8-1,4	0,8-1,3	-	-	0,25	0,05	0,05	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-3005	EN AW-AlMnlMg0,5	0,6	0,7	0,30	1,0-1,5	0,20-0,6	0,10	-	0,25	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-3105	EN AW-AlMn0,5Mg0,5	0,6	0,7	0,30	0,30-0,8	0,20-0,8	0,20	-	0,40	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-3105A	EN AW-AlMn0,5Mg0,5(A)	0,6	0,7	0,30	0,30-0,8	0,20-0,8	0,20	-	0,25	-	-	-	0,10	0,05,	0,15	Rest
EN AW-3207	EN AW-AlMn0,6	0,30	0,45	0,10	0,40-0,8	0,10	-	-	0,10	-	-	-	-	0,05	0,10	Rest
EN AW-3207A	EN AW-AlMn0,6(A)	0,35	0,6	0,25	0,30-0,8	0,40	0,20	-	0,25	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-3017	EN AW-AlMnlCu0,3	0,25	0,25-0,45	0,25-0,40	0,8-1,2	0,10	0,15	-	0,10	-	-	-	0,05	0,05	0,15	Rest
c) Aliaje Al – Si (seria 4000)																
EN AW-4004	EN AW-AlSi10Mg1,5	9,0-10,5	0,8	0,25	0,10	1,0-2,0	-	-	0,20	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-4104	EN AW-AlSi10MgBi	9,0-10,5	0,8	0,25	0,10	1,0-2,0	-	-	0,20	-	-	0,02-0,20Bi	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-4006	EN AW-AlSi1Fe	0,8-1,2	0,50-0,8	0,10	0,05	0,01	0,20	-	0,05	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-4007	EN AW-AlSi1,5Mn	1,0-1,7	0,40-1,0	0,20	0,8-1,5	0,20	0,05-0,25	0,15-0,7	0,10	-	-	0,05Co	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-4014	EN AW-AlSi2	1,4-2,2	0,7	0,20	0,35	0,30-0,8	-	-	0,20	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-4015	EN AW-AlSi2Mn.	1,4-2,2	0,7	0,20	0,6-1,2	0,10-0,50	-	-	0,20	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest'
EN AW-4032	EN AW-AlSi12,5MgCuNi	11,0-13,5	1,0	0,05-1,3	-	0,8-1,3	0,10	0,50-1,3	0,25	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-4043A	EN AW-AlSi5(A)	4,5-6,0	0,6	0,30	0,15	0,20	-	-	0,10	-	-	4)	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-4343	EN AW-AlSi7,5	6,8-8,2	0,8	0,25	0,10	-	-	-	0,20	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-4045	EN AW-AlSi10	9,0-11,0	0,8	0,30	0,05	0,05	-	-	0,10	-	-	-	0,20	0,05	0,15	Rest

Tabelul 4.22 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
EN AW-4046	EN AW-AlSi10Mg	9,0-11,0	0,50	0,03	0,40	0,20-0,50	-	-	0,10	-	-	-	0,15	0,05	0,15	Rest
ENAW-4047A	EN AW-AlSi12(A)	11,0-13,0	0,6	0,30	0,15	0,10	-	-	0,10	-	-	4)	0,15	0,05	0,15	Rest
d) Aliaje Al – Mg (seria 5000)																
EN AW-5005	EN AW-AlMg1(B)	0,30	0,7	0,20	0,20	0,50-1,1	0,10	-	0,25	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-5005A	EN AW-AlMg1(C)	0,30	0,45	0,05	0,15	0,7-1,1	0,10		0,20	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-5305	EN AW-Al99,85Mg1	0,08	0,08	-	0,03	0,7-1,1	-	-	0,05	-	-	-	0,02	0,02	-	Rest
EN AW-5505	EN AW-Al99,9Mg1	0,06	0,04	-	0,03	0,8-1,1	-	-	0,04	-	-	-	0,01	0,01	-	Rest
EN AW-5605	EN AW-Al99,98Mg1	0,01	0,008	-	-	0,8-1,1	-	-	0,01	-	-	0,008 Fe+Ti	0,008	0,003	-	Rest
EN AW-5010	EN AW-AlMg0,5Mn	0,40	0,7	0,25	0,10-0,30	0,20-0,6	0,15	-	0,30	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-5110	EN AW-Al99,85Mg0,5	0,08	0,08	-	0,03	0,30-0,6	-	-	0,05	-	-	-	0,02	0,02	-	Rest
EN AW 5210	EN AW-Al99,9Mg0,5	0,06	0,04	-	0,03	0,35-0,6	-	-	0,04	-	-	-	0,01	0,01	-	Rest
EN AW-5310	EN AW-Al99,98Mg0,5	0,01	0,008	-	-	0,35-0,6	-	-	0,01	-	-	0,008 Fe+Ti	0,008	0,003	-	Rest
EN AW-5018	EN AW-AlMg3Mn0,4	0,25	0,40	0,05	0,20-0,6	2,6-3,6	0,30	-	0,20	-	-	0,20-0,6 Mn+Cr4)	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-5019	EN AW-AlMg5	0,40	0,50	0,10	0,10-0,6	4,5-5,6	0,20	-	0,20	-	-	0,10-0,6 Mn+Cr	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-5119	.EN AW-AlMg5(A)	0,25	0,40	0,05	0,20-0,6	4,5-5,6	0,30	-	0,20	-	-	0,20-0,6 Mn+Cr4)	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-5040	EN AW-AlMg1,5Mn	0,30	0,7	0,25	0,9-1,4	1,0-1,5	0,10-0,30	-	0,25	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-5042	EN AW-AlMg3,5Mn	0,20	0,35	0,15	0,20-0,50	3,0-4,0	0,10	-	0,25	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-5049	EN AW-AlMg2Mn0,8	0,40	0,50	0,10	0,50-1,1	1,6-2,5	0,30		0,20	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-5149	EN AW-AlMg2Mn0,8(A)	0,25	0,40	0,05	0,50-1,1	1,6-2,5	0,30	-	0,20	-	-	-	0,15	0,05	0,15	Rest
ENAW-5249	EN AW-AlMg2Mn0,8Zr	0,25	0,40	0,05	0,50-1,1	1,6-2,5	0,30	-	0,20	-	-	0,10-0,20 Zr	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-5050	EN AW-AlMgl,5(C)	0,40	0,7	0,20	0,10	1,1-1,8	0,10	-	0,25	-	-	-	-	0,5	0,15	Rest
EN AW-5050A	EN AW-AlMgl,5(D)	0,40	0,7	0,20	0,30	1,1-1,8	0,10	-	0,25	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-5051A	EN AW-AlMg2(B)	0,30	0,45	0,05	0,25	1,4-2,1	0,30	-	0,20	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-5251	EN AW-AlMg2	0,40	0,50	0,15	0,10-0,50	1,7-2,4	0,15	-	0,15	-	-	-	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-5052	EN AW-AlMg2,5	0,25	0,40	0,10	0,10	2,2-2,8	0,15-0,35	-	0,10	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-5252	EN AW-AlMg2,5(B)	0,08	0,10	0,10	0,10	2,2-2,8	-	-	0,05	-	0,05	-	-	0,03	0,10	Rest

Tabelul 4.22 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
EN AW-5352	EN AW-AlMg2,5(A)	0,45 Si+Fe		0,10	0,10	2,2-2,8	0,10	-	0,10	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-5154A	EN AW-AlMg3,5(A)	0,50	0,50	0,10	0,50	3,1-3,9	0,25	-	0,20	-	-	0,10-0,50 Mn+Cr[4)]	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-5154B	EN AW-AlMg3,5Mn0,3	0,35	0,45	0,05	0,15-0,45	3,2-3,8	0,10	0,01	0,15	-	-	-	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-5354	EN AW-AlMg2,5MnZr	0,25	0,40	0,05	0,50-1,0	2,4-3,0	0,05-0,20	-	0,25	-	-	0,10-0,20Zr	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-5454	EN AW-AlMg3Mn	0,25	0,40	0,10	0,50-1,0	2,4-3,0	0,05-0,20	-	0,25	-	-	-	0,20	0,05	0,15	Rest
EN ÂW-5554	EN AW-AlMg3Mn(A)	0,25	0,40	0,10	0,50-1,0	2,4-3,0	0,05-0,20	-	0,25	-	-	4)	0,05-0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-5654	EN AW-AlMg3,5Cr	0,45 Si+Fe		0,05	0,001	3,1-3,9	0,15-0,35	-	0,20	-	-	4)	0,05-0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-5754	EN AW-AlMg3	0,40	0,40	0,10	0,50	2,6-3,6	0,30	-	0,20	-	-	0,10-0,6 Mn+Cr	0,15	*0,05*	0,15	Rest
EN AW-5056A	EN AW-AlMg5	A se vedea simbolizarea nouă EN AW-5019 [AlMg5]														
EN AW-5356	EN AW-AlMg5Cr(A)	0,25	0,40	0,10	0,05-0,20	4,5-5,5	0,05-0,20	-	0,10	-	-	4)	0,06-0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-5456A	EN AW-AlMg5Mn1(A)	0,25	0,40	0,05	0,7-1,1 '	4,5-5,2	0,05-0,25		0,25	-	-	4)	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-5556A	EN AW-AlMg5Mn	0,25	0,40	0,10	0,6-1,0	5,0-5,5	0,05-0,20	-	0,20	-	-	4)	0,05-0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-5657	EN AW-Al99,85Mg1(A)	0,08	0,10	0,10	0,03	0,6-1,0	-	-	0,05	0,03	0,05	-	-	0,02	0,05	Rest
EN AW-5055 '	EN AW-AlMg5Pb1,5	0,40	0,50	0,10	0,20	4,5-5,6	0,10	-	0,20	-	-	1,2-1,8Pb	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-5082	EN AW-AlMg4,5	0,20	0,35	0,15	0,15	4,0-5,0,	0,15	-	0,25	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-5182	EN AW-AlMg4,5Mn0,4	0,20	0,35	0,15	0,20-0,50	4,0-5,0	0,10	-	0,25	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-5083	EN AW-AlMg4,5Mn0,7	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	-	0,25	-	-	-	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-5183	EN AW-AlMg4,5Mn0,7(A)	0,40	0,40	0,10	0,50-1,0	4,3-5,2	0,05-0,25	-	0,25	-	-	4)	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-5283A	EN AW-AlMg4,5Mn0,7(B)	0,30	0,30	0,03	0,50-1,0	4,5-5,1	0,05	0,03	0,10	-	-	-	0,03	0,05	0,15	Rest
EN AW-5086	EN AW-AlMg4	0,40	0,50	0,10	0,20-0,7	3,5-4,5	0,05-0,25	-	0,25	-	-	-	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-5087	EN AW-AlMg4,5MnZr	0,25	0,40	0,05	0,7-1,1	4,5-5,2	0,05-0,25	-	0,25	-	-	-	0,15	0,05	015	Rest

Tabelul 4.22 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
e) Aliaje Al – Mg – Si (seria 6000)																
EN AW-6101	EN AW-EAlMgSi	0,30-0,7	0,50	0,10	0,03	0,35-0,8	0,03	-	0,10	-	-	0,06B	-	0,03	0,10	Rest
EN AW-6101A	EN AW-EalMgSi(A)	0,30-0,7	0,40	0,05	-	0,40-0,9	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,10	Rest
EN AW-6101B	EN AW-EalMgSi(B)	0,30-0,6	0,10-0,30	0,05	0,05	0,35-0,6	-	-	0,10	-	-	-	-	0,03	0,10	Rest
EN AW-6201	EN AW-EalMg0,7Si	0,50-0,9	0,50	0,10	0,03	0,6-0,9	0,03	-	0,10	-	-	-	-	0,03	0,10	Rest
EN AW-6401	EN AW-Al99,9MgSi	0,35-0,7	0,04	0,05-0,20	0,03	0,35-0,7	-	-	0,04	-	-	-	0,01	0,01	-	Rest
EN AW-6003	EN AW-AlMg1Si0,8	0,35-1,0	0,6	0,10	0,8	0,8-1,5	0,35	-	0,20	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-6005	EN AW-AlSiMg	0,6-0,9	0,35	0,10	0,10	0,40-0,6	0,10	-	0,10	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest '
EN AW-6005A	EN AW-Al SiMg(A)	0,5-0,9	0,35	0,30	0,50	0,40-0,7	0,30	-	0,20	-	-	0,12-0,5 Mn+Cr	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-6005B	EN AW-AlSiMg(B)	0,45-0,8	0,30	0,10	0,10	0,40-0,8	0,10	-	0,10	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-6106	EN AW-AlMgSiMn	0,3-0,6	0,35	0,25	0,05-0,20	0,40-0,8	0,20	-	0,10	-	-	-	-	0,05	0,10	Rest
EN AW-6011	EN AW-AlMg0,9Si0,9Cu	0,6-1,2	1,0	0,4-0,9	0,8	0,6-1,2	0,30	0,20	1,5	-	-	-	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-6012	EN AW-AlMgSiPb	0,6-1,4	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,30	-	0,30	-	-	0,7Bi; 0,40-2,0Pb	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-6013	EN AW-AlMg1Si0,8CuMn	0,6-1,0	0,50	0,6-1,1	0,20-0,8	0,8-1,2	0,10	-	0,25	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-6015	ENAW-AJMglSiO.SCu	0,2-0,4	0,1-0,3	0,10-0,25	0,10	0,8-1,1	0,10	-	0,10	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
FN AW-6018	EN AW-AlMg1SiPbMn	0,5-1,2	0,7	0,15-0,40	0,30-0,8	0,6-1,2	0,10	-	0,30	-	-	16)	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-6351	EN AW-AlSi1Mg0,5Mn	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-0,8	0,40-0,8	-	-	0,20	-	-	-	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-6351A	EN AW-AlSi1Mg0,5Mn(A)	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-0,8	0,40-0,8	-	-	0,20	-	-	15)	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-6951	EN AW-AlMgSi0,3Cu	0,2-0,5	0,8	0,15-0,40	0,10	0,40-0,8	-	-	0,20	-	-	-	-	0,05	0,15:	Rast
EN AW-6056	EN AW-AlSi1MgCuMn	0,7-1,3	0,50	0,5-1,1	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	-	0,10-0,7	-	-	17)	17)	0,05	0,15	Rest

Tabelul 4.22 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
EN AW-6060	EN AW-AlMgSi	0,3-0,6	0,1-0,3	0,10	0,10	0,35-0,6	0,05	-	0,15	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-6061	EN AW-AlMg1SiCu	0,4-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	-	0,25	-	-	-	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-6061A	EN AW-AIMg1SiCu(A)	0,4-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	-	0,25	-	-	-	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-6261	EN AW-AlMg1SiCuMn	0,4-0,7	0,40	0,15-0,40	0,20-0,35	0,7-1,0	0,10	-	0,20	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-6262	EN AW-AlMg1SiPb	0,4-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,14	-	0,25	-	-	-	0,15	0,05	0,15	Rest
EN AW-6063	EN AW-AlMg0,7Si	0,2-0,6	0,35	0,10	0,10	0,45-0,9	0,10	-	0,10	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-6063A	EN AW-AlMg0,7Si(A)	0,3-0,6	0,15-0,35	0,10	0,15	0,6-0,9	0,05	-	0,15	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-6463	EN AW-AlMg0,7Si(B)	0,2-0,6	0,15	0,20	0,05	0,45-0,9	-	-	0,05	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-6081	EN AW-AlSi0,9MgMn	0,7-1,1	0,50	0,10	0,10-0,45	0,6-1,6	0,10	-	0,20	-	-	-	0,15	0,05	0,15 ,	Rest
EN AW-6181	EN AW-AlSi1Mg0,8	0,8-1,2	0,45	0,10	0,15	0,6-1,0	0,10	-	0,20	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-6082	EN AW-AlSi1MgMn	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	-	0,20	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-6082A	EN AW-AlSiMgMn(A)	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	-	0,20	-	-	15)	0,10	0,05	0,15	Rest
f) Aliaje Al – Zn (seria 7000)																
EN AW-7003	EN AW-AlZn6Mg0,8Zr	0,30	0,35	0,20	0,30	0,50-1,0	0,20	-	5,0-6,5	-	-	0,05-0,25Zr	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-7005	EN AW-AlZn4,5Mg1,5Mn	0,35	0,40	0,10	0,20-0,7	1,0-1,8	0,06-0,20	-	4,0-5,0	-	-	0,08-0,20Zr	0,01-0,06	0,05	0,15	Rest
EN AW-7108	EN AW-AlZn5Mg1Zr	0,10	0,10	0,05	0,05	0,7-1,4	-	-	4,5-5,5	-	-	0,12-0,25Zr	0,05	0,05	0,15	Rest
EN AW-7009	EN AW-AlZn5,5MgCuAg	0,20	0,20	0,6-1,3	0,10	2,1-2,9	0,10-0,25	-	5,5-6,5	-	-	10)	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-7010	EN AW-AlZn6MgCu	0,12	0,15	1,5-2,0	0,10	2,1-2,6	0,05	0,05	5,7-6,7	-	-	0,10-0,16Zr	0,06	0,05	0,15	Rest
EN AW-7012	EN AW-AlZn6Mg2Cu	0,15	0,25	0,8-1,2	0,08-0,15	1,8-2,2	0,04	-	5,8-6,5	-	-	0,10-0,18Zr	0,02-0,08	0,05	0,15	Rest
EN AW-7015	EN AW-AlZn5Mg1,5CuZr	0,20	0,30	0,06-0,15	0,10	1,3-2,1	0,15	-	4,6-5,2	-	-	0,10-0,20Zr	0,10	0,06	0,15	Rest
EN AW-7016	EN AW-AlZn4,5Mg1Cu	0,10	0,12	0,45-1,0	0,03	0,8-1,4	-	-	4,0-5,0	-	0,05	-	0,03	0,03	0,10	Rest
EN AW-7116	EN AW-AlZn4,5Mg1Cu0,8	0,15	0,30	0,50-1,1	0,05	0,8-1,4	-	-	4,2-5,2	0,03	0,05	-	0,05	0,05	0,15	Rest

Tabelul 4.22 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
EN AW-7020	EN AW-AlZn4,5Mg1	0,35	0,40	0,20	0,05-0,50	1,0-1,4	0,10-0,35	-	4,0-5,0	-	-	[9)]	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-7021	EN AW-AlZn5,5Mg1,5	0,25	0,40	0,25	0,10	1,2-1,8	0,05	-	5,0-6,0	-	-	0,08-0,18Zr	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-7022	EN AW-AlZn5Mg3Cu	0,50	0,50	0,5-1,0	0,10-0,40	2,6-3,7	0,10-0,30	-	4,3-5,2	-	-	0,2Ti+Zr	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-7026	EN AW-AlZn5Mg1,5Cu	0,08	0,12	0,6-0,9	0,05-0,20	1,5-1,9	-	-	4,6-5,2	-	-	0,09-0,14Zr	0,05	0,03	0,10	Rest
EN AW-7029	EN AW-AlZn4,5Mg1,5Cu	0,10	0,12	0,5-0,9	0,03	1,3-2,0	-	-	4,2-5,2	-	0,05	-	0,05	0,03	0,10	Rest
EN AW-7129	EN AW-AlZn4,5Mg1,5Cu(A)	0,15	0,30	0,5-0,9	0,10	1,3-2,0	0,10	-	4,2-5,2	0,03	0,05	-	0,05	0,05	0,15	Rest
ENAW-7030	EN AW-AlZn5,5Mg1Cu	0,20	0,30	0,2-0,4	0,05	1,0-1,5	0,04	-	4,8-5,9	0,03	-	0,03Zr	0,03	0,05	0,15	Rest
EN AW-7039	EN AW-AlZn4Mg3	0,30	0,40	0,10	0,10-0,40	2,3-3,3	0,15-0,25	-	3,5-4,5	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-7049A	EN AW-AlZn8MgCu	0,40	0,50	1,2-1,9	0,50	2,1-3,1	0,05-0,25	-	7,2-8,4	-	-	0,25Zr+Ti	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-7149	EN AW-AlZn8MgCu(A)	0,15	0,20	1,2-1,9	0,20	2,0-2,9	0,10-0,22	-	7,2-8,2	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-7050	EN AW-AlZn6CuMgZr	0,12	0,15	2,0-2,6	0,10	1,9-2,6	0,04	-	5,7-6,7	-	-	0,08-0,15Zr	0,06	0,05	0,15	Rest
EN AW-7150	EN AW-AlZn6CuMgZr(A)	0,12	0,15	1,9-2,5	0,10	2,0-2,7	0,04	-	5,9-6,9	-	-	0,08-0,15Zr	0,06	0,05	0,15	Rest
EN AW-7060	EN AW-AlZn7CuMg	0,15	0,20	1,8-2,6	0,20	1,3-2,1	0,15-0,25	-	6,1-7,5	-	-	0,05 Zr[15)]	0,05	0,05	0,15	Rest
EN AW-7072	EN AW-AlZn1	0,7 Si+ Fe		0,10	0,10	0,10	-	-	0,8-1,3	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-7075	EN AW-AlZn5,5MgCu	0,40	0,50	1,2-2,0	0,30	2,1-2,9	0,18-0,28	-	5,1-6,1	-	-	[8)]	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-7175	EN AW-AlZn5,5MgCu(B)	0,15	0,20	1,2-2,0	0,10	2,1-2,9	0,18-0,28	-	5,1-6,1	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-7475	EN AW-AlZn5,5MgCu(A)	0,10	0,12	1,2-1,9	0,06	1,9-2,6	0,18-0,25	-	5,2-6,2	-	-	-	0,06	0,05	0,15	Rest
EN AW-7178	EN AW-AlZn7MgCu	0,40	0,50	1,6-2,4	0,30	2,4-3,1	0,18-0,28	-	6,3-7,3	-	-	-	0,20	0,05	0,15	Rest

Tabelul 4.22 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
g) Aliaje de aluminiu diverse (seria 8000)																
EN AW-8006	EN AW-AlFe1,5Mn	0,40	1,2-2,0	0,30	0,30-1,0	0,10	-	-	0,10	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-8008	EN AW-AlFe1Mn0,8	0,6	0,9-1,6	0,20	0,50-1,0	-	-	-	0,10	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-8011A	EN AW-AlFeSi(A)	0,4-0,8	0,5-1,0	0,10	0,10	0,10	0,10	-	0,10	-	-	-	0,05	0,05	0,15	Rest
EN AW-8111	EN AW-AlFeSi(B)	0,3-1,1	0,4-1,0	0,10	0,10	0,05	0,05	-	0,10	-	-	-	0,08	0,05	0,15	Rest
EN AW-8211	EN AW-AlFeSi(C)	0,4-0,8	0,5-1,0	0,10	0,05-0,20	0,10	0,15	-	0,10	-	-	-	0,05	0,06	0,15	Rest
EN AW-8112	EN AW-Al95	1,0	1,0	0,40	0,6	0,7	0,20	-	1,0	-	-	-	0,20	0,05	0,15	Rest
EN AW-8014	EN AW-AlFe1,5Mn0,4	0,30	1,2-1,6	0,20	0,20-0,6	0,10	-	-	0,10	-	-	-	0,10	0,05	0,15	Rest
EN AW-8016	EN AW-AlFe1Mn	0,20	0,7-1,1	0,10	0,10-0,30	0,10	-	-	0,10	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-8018	EN AW-AlFeSiCu	0,5-0,9	0,6-1,0	0,3-0,6	0,30	-	-	-	-	-	-	-	0,006-0,06	0,05	0,15	Rest
EN AW-8079	EN AW-AlFe1Si	0,05-0,30	0,7-1,3	0,05	-	-	-	-	0,10	-	-	-	-	0,05	0,15	Rest
EN AW-8090	EN AW-AlLi2,5Cu1,5Mg1	0,20	0,30	1,0-1,6	0,10	0,6-1,3	0,10	-	0,25	-	-	0,04-0,16 Zr[12)]	0,10	0,05	, 0,15	Rest

NOTE

[1)] Suma acestor elemente metalice „Altele" al căror conținut este 0,010 % sau mai mare pentru fiecare element, se exprimă cu două zecimale înainte de efectuarea sumei.

[2)] Conținutul de aluminiu pentru aluminiu nealiat care nu se obține prin procesul de rafinare este egal cu diferența între 100,00 % şi surpa tuturor elementelor metalice cu un conținut de 0,010%
sau mai mare, pentru fiecare element exprimat cu două zecimale înainte de efectuarea sumei.

[3)] Conținutul de aluminiu pentru aluminiu nealiat obținut prin procesul de rafinare este egal cu diferența între 100,00 % şi suma tuturor elementelor metalic cu un conținut de 0,0010% sau mai mare pentru fiecare element exprimat cu trei zecimale înainte de efectuarea sumei, care se rotunjeşte la a doua zecimală înainte de scădere.

[4)] Be max. 0,0008- pentru electrozii de sudură şi sârma electrod.

[5)] Bi 0,20 ... 0,6; Pb 0,20 ... 0,6.

[6)] Limita de max 0,20Zr+Ti se poate utiliza pentru produse extrudate şi forjate, dacă există un acord între furnizor sau producător şi cumpărător.

[7)] Bi 0,40 ... 0.7; Pb 0,40 … 0,7.

[8)] Limita de max 0,25Zr+Ti se poate utiliza pentru produse extrudate şi forjate, dacă există un acord între furnizor sau producător şi cumpărător.

[9)] Zr 0,08 ... 0,20; Zr+Ti0,08 … 0,25.

[10)] Ag 0,25 … 0,40.

[11)] Bi 0,20; Pb 0,8 … 1,5; Sn 0,20.

[12)] Li 2,2 … 2,7.

[13)] Li 1,7 … 2,3.

[14)] Include lista elementelor pentru care nu se precizează limite.

[15)] Pb max. 0,003.

[16)] Bi 0,40 … 0,7; Pb 0,40 … 1,2.

[17)] Zr+Ti max. 0,20.

În ţara noastră este standardizată o singură marcă de aliaj antifricţiune pe bază de aluminiu (STAS 202-80), şi anume Y-AlSb5 cu următoarea compoziţie chimică: Sb = 4,0…5,5%; Mg = 0,3…7%; Al = rest, impurităţi (Cu = 0,008%, Zn = 0,08%, Fe = 0,25%, Si = 0,20%) şi cu următoarele caracteristici tehnice: ρ = 2,8kg/dm^3, HB = 25…28, rezistenţa la compresiune 630…670 N/mm^2, temperatura de turnare peste 800 ºC şi aplatizarea (pierderea de înălţime prin presare) de 50…60%.

4.4. Plumbul şi aliajele plumbului

4.4.1. Plumbul

Plumbul a fost cunoscut încă din mileniul IV î.Hr., în Asia Mică, India şi Egipt, unde se obţinea prin reducerea minereurilor oxidice. Chinezii l-au folosit în mileniul II î.Hr. pentru baterea monedelor, iar romanii, la construcţia celebrelor apeducte, tot ei dându-i şi numele (*plumbum*).

Plumbul reprezintă 0,002% din scoarţa terestră şi se exploatează la conţinuturi minime în zăcământ de 2…4% Pb sau 3…4% când este asociat cu zincul. Ca minereuri de plumb se menţionează galena (PbS), ceruzitul ($PbCO_3$), anglezitul ($PbSO_4$) şi fosgenitul ($PbCl_2 \cdot PbCO_3$). În lume, astfel de zăcăminte se află în Australia, SUA, Rusia, Canada, Mexic şi Iugoslavia, iar în ţara noastră, în bazinul minier Baia Mare, la Baia de Arieş, Muncelul Mic, Leşul Ursului, Ruşchiţa, Dognecea şi Boiţa-Haţeg. Minereurile se supun operaţiilor de preparare, prin care se obţin concentrate cu 40…65% Pb. Din concentrate, plumbul se extrage prin metode pirometalurgice şi hidrometalurgice. Metoda pirometalurgică (prăjire aglomerantă, topire reducătoare, rafinare termică şi electrolitică) este cea mai răspândită şi rămâne actuală, pentru că asigură productivităţi mari, cu investiţii mici şi permite mecanizarea şi automatizarea proceselor. Metoda hidrometalurgică este răspândită mai puţin, din cauza solubilităţii slabe a sărurilor de plumb în reactivi şi a investiţiilor mari.

Plumbul face parte din grupa a IV-a secundară a sistemului periodic al elementelor, având numărul atomic 82, masa atomică 207,19, volumul atomic 18,3 şi valenţele 2 şi 4. Este un metal greu (ρ=11,34·10^3 kg/m^3), de culoare cenuşie-albăstruie, foarte moale (HB = 3,2…4,5) şi foarte maleabil, cu temperatura de topire la 327,4 ºC şi temperatura de fierbere la 1750 ºC. Este rău conducător de căldură (λ=34,75 W/m·K) şi de electricitate (σ =5,18 MS/m). Are o mare rezistenţă la coroziune atât contra agenţilor atmosferici, cât şi contra agenţilor chimici, cu excepţia acizilor azotic şi acetic. Reacţionează şi cu halogenii şi cu sulful, dar nu reacţionează cu apa. Atât el, cât şi combinaţiile sale sunt toxice, producând boala numită *saturnism* care se manifestă prin colici, anemie, tulburări nervoase şi căderea dinţilor. Intoxicaţiile cu plumb se tratează cu lactate (calciu organic), precum şi cu magneziu şi cu iodură de potasiu.

Proprietăţile mecanice ale plumbului sunt slabe, cu excepţia alungirii şi gâtuirii (R_m = 1,1…1,5 daN/mm^2, $R_{p0,2}$ = 0,5 daN/mm^2, E = 1600…1800 daN/mm^2, A = 35…65%, Z = 100%). El are o plasticitate foarte ridicată şi se poate prelucra

prin turnare (420…445 ºC), laminare, extrudare şi presare. Se sudează şi se lipeşte bine.

Plumbul se utilizează în principal la fabricarea acumulatoarelor electrice[6] (75% din producția mondială), precum şi la protejarea cablurilor electrice şi telefonice subterane sau submarine. Datorită rezistenței mari la acțiunea acidului sulfuric, este folosit în industria chimică, la căptuşirea băilor galvanice şi la fabricarea rezervoarelor, conductelor şi armăturilor pentru depozitarea şi transportul unor lichide şi gaze corosive. Se mai utilizează în construcții (țevi de canalizare şi apă), în industria vopselelor (miniu de plumb), în industria de armament (alice şi gloanțe), la fabricarea tetraetilului de plumb (antidetonant al benzinei, inventat în 1921 în SUA), ca protector contra acțiunii radiațiilor *X* şi nucleare, precum şi la elaborarea unor aliaje (de lipit, tipografice, uşor fuzibile şi de cuzineți).

În România sunt standardizate mai multe mărci de plumb (STAS 663-89), în tabelul 4.23 fiind prezentate compozițiile chimice şi domeniile lor de utilizare. Simbolizarea mărcilor de plumb se face prin indicarea simbolului chimic al plumbului, urmat de conținutul minim al acestuia, în procente. El se livrează în blocuri de 25…50 kg.

4.4.2. Aliaje de plumb

În tehnică se utilizează aliaje ale plumbului cu stibiu, staniu, cadmiu, cupru, nichel, arsen, telur, sodiu, calciu şi magneziu, aceste elemente având următoarele influențe:

- *stibiul* coboară temperatura de topire, reduce contracția şi măreşte duritatea şi rezistența mecanică;
- *staniul* şi *cadmiul* coboară temperatura de topire şi măresc fluiditatea, duritatea, rezistența mecanică şi tenacitatea (staniul se poate înlocui cu *arsen* care este mai ieftin);
- *cuprul* finisează structura, împiedică segregația şi măreşte duritatea dar ridică şi temperatura de topire;
- *telurul* finisează structura, îmbunătățeşte plasticitatea şi măreşte stabilitatea durității la temperaturi ridicate;
- *sodiul, calciul,* şi *magneziul* măresc rezistența mecanică şi duritatea.

Alte elemente cum ar fi zincul şi sulful sunt dăunătoare. *Zincul* măreşte granulația şi înrăutățeşte proprietățile de turnare ale aliajului, iar *sulful* produce fragilitate la cald.

4.4.2.1. Aliaje antifricțiune. Aliajele antifricțiune se folosesc la fabricarea cuzineților lagărelor cu alunecare şi trebuie să îndeplinească două condiții contradictorii: să fie moi pentru a se acomoda la fusul arborelui şi să fie dure pentru a avea un coeficient de frecare cât mai mic. Aceste deziderate sunt îndeplinite de aliajele antifricțiune care au constituenți duri (compuşi intermetalici)

[6]Acumulatorul electric cu plăci de plumb a fost inventat în 1859 de fizicianul francez *Gaston PLANTÉ* (1834-1889) care a avut o frumoasă carieră universitară pariziană la Conservatoire des Arts et Métiers (din 1854) şi la Association Polytechnique pour la Développement de l'Instruction (din 1860).

Tabelul 4.23. **Mărci de plumb**

Marca	Pb [%] min.	Impurități [%] max.									Domenii de utilizare
		Ag	As	Bi	Cu	Fe	Sb	Sn	Zn	Total impurități	
Pb 99,995	99,995	0,0003	urme	0,001	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,001	0,005	Pentru industria chimică, acumulatoare fără întreținere, energetică nucleară
Pb 99,99	99,99	0,0003	0,0005	0,002	0,0005	0,0007	0,0005	0,0005	0,001	0,010	Pentru industria chimică, acumulatoare de pornire, acoperiri, cabluri electrice, aliaje
Pb 99,98	99,98	0,0005	0,001	0,005	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,020	Pentru industria chimică, acumulatoare, acoperiri, aliaje, cabluri electrice
Pb 99,96	99,96	0,001	0,004	0,010	0,004	0,004	0,005	0,002	0,002	0,040	Pentru industria chimică, acoperiri, aliaje şi băi de călire
Pb 99,94	99,94	0,0015	0,004	0,010	0,010	0,005	0,010	0,002	0,005	0,060	Pentru executarea tablelor, utilizate în industria chimică, pentru instalații; sanitare, aliaje de lipit, aliaje tipografice
Pb 99,85	99,85	0,002	0,008	0,050	0,010	0,008	0,020	0,002	0,008	0,15	Pentru aliaje de lipit, aliaje antifricțiune

într-o masă de bază eutectică, moale şi cu temperatură de topire scăzută (fig. 4.9). Matricea moale asigură acomodarea la fus pe măsura uzării, iar cristalele dure, un coeficient de frecare redus. Matricea este alcătuită din plumb, iar cristalele dure sunt compuşi intermetalici (SnSb, Cu_3Sn) sau chiar metale pure (Sb).

Pe lângă condițiile menționate, aliajele antifricțiune trebuie să îndeplinească şi următoarele cerințe: să aibă rezistență mare la compresiune şi rezistență bună la uzură; să aibă conductibilitate termică mare şi să fie rezistente la coroziune; să aibă o plasticitate ridicată şi un preț de cost nu prea mare; să asigure o lubrifiere bună.

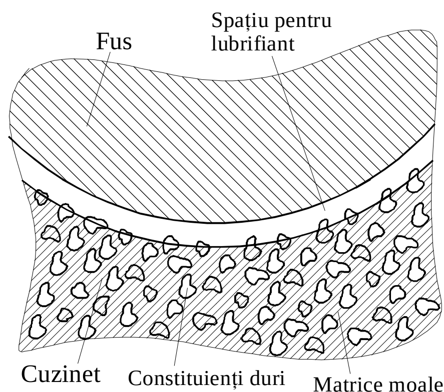


Fig. 4.9. Structura aliajelor antifricțiune.

Aliajele antifricțiune pe bază de plumb sunt mai ieftine decât cele pe bază de staniu şi conțin până la 18% Sb, până la 12% Sn, precum şi cupru şi alte elemente (STAS 202-80). În tabelul 4.24 sunt prezentate compozițiile chimice ale aliajelor antifricțiune pe bază de plumb, precum şi caracteristicile tehnice ale acestora şi domeniile de utilizare. Notarea lor se face prin litera *Y*, urmată de o liniuță şi de simbolurile chimice ale plumbului şi ale elementelor de aliere, precum şi de cifre care arată conținuturile medii, în procente, ale elementelor de aliere.

4.4.2.2. Aliaje tipografice. Aliajele tipografice sunt aliaje ternare Pb-Sn-Sb, destinate confecționării literelor, linotipurilor, monotipurilor şi stereotipurilor din industria tipografică. Duritatea lor este destul de variată (HB = 10…30) şi se topesc la 250…390 ºC. Ele se notează prin simbolul chimic al elementului de bază (plumb), urmat de simbolurile chimice ale elementelor componente, cu indicarea conținutului mediu al acestora, în procente (STAS 4440-76). Se admite şi notarea prescurtată a acestor aliaje, în funcție de destinația acestora, utilizând următoarele simboluri literale: *L* - linotip (maşină care, prin apăsarea unor clape, culege şi toarnă litere în rânduri întregi); *M* - monotip (maşină care culege şi toarnă literele una câte una); *C* - litere de casă (cutie dreptunghiulară în care se păstrează literele sau semnele tipografice de acelaşi caracter); *S* - stereotip (placă plană sau semicilindrică prinsă în cauciuc sau material plastic care reproduce un text sau un clişeu şi întrebuințată ca tipar în lucrări de mare tiraj); *Ac* - aliaje de corectare (pentru fluiditate sau duritate).

În tabelul 4.25 sunt prezentate compozițiile chimice, precum şi domeniile de utilizare ale aliajelor tipografice standardizate în România (STAS 4440-76)

4.4.2.3.Aliaje pentru lipire moale. Lipirea moale se aplică pieselor care nu sunt solicitate în mod deosebit în timpul funcționării ($R_m \leq 7$ daN/mm^2), cum sunt contactele electrice, instalațiile sanitare, aparatura medicală, articolele casnice şi cutiile de conserve. Temperatura lor de topire este mai mică decât cea a pieselor de lipit, situându-se sub 450 ºC. Au fluiditate rezonabilă şi o rezistență bună la coroziune.

Tabelul 4.24. **Aliaje antifricțiune pe bază de plumb**

Marca aliajului	Compoziția chimică [%]															Caracteristici tehnice					Domenii de utilizare
	Sn	Sb	Cu	Pb	Al	Mg	Alte ele-mente	Impurități								HB	Apla-tizare [%]	R_c [N/mm^2]	T_t [%]	ρ [kg/dm^3]	
								Cu	Zn	Fe	Al	As	Bi	Cd	Total impur.						
Y-PbSn10	9,5-12	14,5 - 16,5	0,5-1,5	Rest	-	-	-	-	0,05	0,1	0,05	0,12	0,05	-	0,25	23-32	16,5	135	400-450	9,6 - 9,8	Cuzineți de biele și osii la locomotive de viteză mare și la vagoane
Y-PbSn6 Sb6	5,5-6,5	5,5-6,5	-	Rest	-	-	-	0,2	0,05	0,1	0,05	0,12	0,05	0,05	0,3 (fără Cu)	16-18	-	-	400-450		Cuzineți subțiri pentru autocamioane
Y-PbSn6 Cd	5,5-6,5	16,0 - 18,0	-	Rest	-	-	As=0,7-0,8 Cd=0,8-0,9 Ni=0,8-1,1	0,05	0,1	0,1	0,05	-	0,1	-	0,25 (fără Cu)	22-31	20	125	400-450	9,7 - 9,9	Cuzineți pentru mașini cu turația sub 500 rot/min
Y-PbSn5	4,0-5,5	9,0-12,0	0,3-0,6	Rest	-	-	-	-	0,05	0,1	0,05	0,12	0,05	-	0,25	-	-	-	400-450	-	Cuzineți pentru vagoane de călători și de marfă
Y-Pb98	-	-	-	Rest	0,02 - 0,04	0,22 - 0,.25	Ca=0,65 -0,72 Na=0,58 -0,66	0,09	0,05	0,1	-	0,12	0,1	-	0,30	30-39	16,5	165	500-600	10,5	Cuzineți pentru vagonete, vagoane și locomotive și pentru axe cu turația de 300 … 400 rot/min.

Observații: Aplatizare – pierdere de înălțime prin presare; R_c – rezistență la compresiune; T_t – temperatura de turnare; ρ – densitatea.

Tabelul 4.25. **Aliaje tipografice**

Marca aliajului	Notare pres-curtată	Compoziția chimică [%]										Domenii de utilizare
		Sn	Sb	Pb	Impurități max.							
					Fe	As	Al	Zn	Bi	Cu+ Ni	Altele	
PbSn5Sbl2	L5/12	4,5-5,5	11,5-12,5	Rest	0,05	0,10	0,01	0,01	0,12	0,08	0,05	Linotip
PbSn9Sbl9	M9/19	8,5-9,5	18,5-19,5	Rest	0,05	0,10	0,01	0,01	0,12	0,08	0,05	Monotip
PbSn7Sbl6	M7/16 S7/16	6,5-7,5	15,5-16,5	Rest	0,05	0,10	0,01	0,01	0,12	0,08	0,05	Monotip sau stereotipie curbă
PbSn7Sb27	C7/27	6,5-7,5	26,0-28,0	Rest	0,05	0,10	0,01	0,01	0,12	0,08	0,05	Litere de casa
PbSn4Sbl5	S4/15	3,5-4,5	14,5-15,5	Rest	0,05	0,10	0,01	0,01	0,12	0,08	0,05	Stereotipie plană
PbSn30Sb6	Ac30/6	29-31	5-7	Rest	0,05	0,10	0,01	0,01	0,12	0,08	0,05	Aliaje de corecta-re pentru mărirea fluiditații
PbSn5Sb28	Ac5/28	4,5-5,5	27-29	Rest	0,05	0,10	0,01	0,01	0,12	0,08	0,05	Aliaje de corecta-re pentru mărirea durității

Simbolizarea aliajelor pentru lipirea moale se face prin litera *S* (prescurtare de la cuvântul englez *soldering = lipire*), urmată de simbolurile chimice ale elementelor componente şi de conținutul mediu al acestora, în procente (SR EN 29453:1995). Ele se livrează sub formă de lingouri, benzi, vergele, bare, baghete, sârme, pastile, preforme sau pulbere. În tabelul 4.26 se prezintă temperaturile de topire şi compozițiile chimice ale aliajelor pentru lipire moale pe bază de plumb.

4.4.2.4 Aliaje uşor fuzibile. Aliajele uşor fuzibile sunt destinate a fi utilizate la aparatura automată de stins incendii (clapete antifoc, sisteme de alarmare şi sprinklere[7]), cazane cu aburi, motoare, oale de presiune, lipirea şi fixarea pieselor pentru prelucrare, confecționarea miezurilor uşor fuzibile la turnarea pieselor şi la umplerea țevilor în vederea îndoirii.

Ele se simbolizează prin literele *AF* (prescurtarea cuvintelor *aliaje fuzibile*), urmate de un număr care reprezintă temperatura medie de topire. Dacă simbolul este marcat prin litera *X*, înseamnă că aliajul îşi pierde şi rezistența mecanică, la temperatura de topire, fiind neeutectic. În tabelul 4.27 se prezintă temperaturile de topire şi compoziția chimică a aliajelor uşor fuzibile (STAS 11958-84). Ele se utilizează în condiții de solicitare la tracțiune sub 2 N/mm^2, fiind susceptibile la fluaj la temperatura obişnuită şi se livrează sub formă de blocuri, vergele, sârme, nituri sau pastile.

[7] *Sprinklerul* este o instalație pentru stingerea incendiilor în halele industriale

Tabelul 4.26. **Aliaje pentru lipire moale pe bază de plumb**

Marca aliajului	Temperatura de topire [ºC]	Compoziția chimică [%]											
		Pb	Sn	Sb	Cd	Zn	Al	Bi	As	Fe	Cu	In	Ag	Suma impurităților
S-Pb50Sn50	183 - 215	Rest	49,5-50,5	0,12	0,002	0,001	0,001	0,10	0,03	0,02	0,05	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb50Sn50E	183 - 215	Rest	49,5-50,5	0,05	0,002	0,001	0,001	0,05	0,03	0,02	0,05	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb55Sn45	183-226	Rest	44,5-45,5	0,50	0,005	0,001	0,001	0,25	0,03	0,02	0,08	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb60Sn40	183-235	Rest	39,5-40,5	0,50	0,005	0,001	0,001	0,25	0,03	0,02	0,08	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb65Sn35	183-245	Rest	34,5-35,5	0,50	0,005	0,001	0,001	0,25	0,03	0,02	0,08	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb70Sn30	183-255	Rest	29,5-30,5	0,50	0,005	0,001	0,001	0,25	0,03	0,02	0,08	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb90Sn10	268-302	Rest	9,5-10,5	0,50	0,005	0,001	0,001	0,25	0,03	0,02	0,08	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb92Sn8	280-305	Rest	7,5-8,5	0,50	0,005	0,001	0,001	0,25	0,03	0,02	0,08	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb98Sn2	320-325	Rest	1,5-2,5	0,12	0,002	0,001	0,001	0,10	0,03	0,02	0,05	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb50Sn50Sb	183-216	Rest	49,5-50,5	0,12-0,50	0,002	0,001	0,001	0,10	0,03	0,02	0,05	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb58Sn40Sb2	185-231	Rest	39,5-40,5	2,0-2,40	0,005	0,001	0,001	0,25	0,03	0,02	0,08	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb69Sn30Sb1	185-250	Rest	29,5-30,5	0,50-1,80	0,005	0,001	0,001	0,25	0,03	0,02	0,08	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb74Sn25Sb1	185-263	Rest	24,5-25,5	0,50-2,00	0,005	0,001	0,001	0,25	0,03	0,02	0,08	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Pb78Sn20Sb2	185-270	Rest	19,5-20,5	0,50-3,00	0,005	0,001	0,001	0,25	0,03	0,02	0,08	-	-	0,08 (fără Sb, Bi și Cu
S-Pb49Sn48Bi3	178-205	Rest	47,5-48,5	0,10	0,002	0,001	0,001	2,5-3,5	0,03	0,02	0,10	0,05	0,05	0,2
S-Pb93Ag2	304-305	Rest	0,25	0,10	0,002	0,001	0,001	0,10	0,03	0,02	0,05	0,05	2,0-3,0	0,2
S-Pb95Ag5	304-365	Rest	0,25	0,10	0,002	0,001	0,001	0,10	0,03	0,02	0,05	0,05	4,5-6,0	0,2
S-Pb93Sn5Ag2	296-301	Rest	4,8-5,2	0,10	0,002	0,001	0,001	0,10	0,03	0,02	0,05	0,05	1,2-1,8	0,2

Tabelul 4.27. **Aliaje uşor fuzibile**

Marca aliajului	Temperatura de topire [ºC]	Compoziţia chimică [%]						
		Bi	Pb	Sn	Cd	Sb	In	Suma impurităţilor
AF50	47±3	44,7±1	22,6±0,5	8,3±0,5	5,3±0,3	-	19,1±0,3	0,1
AF70	71±3	49,5±1	27,3±0,5	13,1±0,3	-	-	-	0,1
AF90	91±2	51,6±1	40,2±0,5	-	8,2±0,3	-	-	0,1
AF95	95±3	52,5±1	32,0±0,5	15,5±0,3	-	-	-	0,1
AF105	105±2	54,0±1	-	26,0±0,5	20,0±0,3	-	-	0,1
AF115X	116±3	48,0±1	28,5±0,5	14,5±0,3	-	9,0±0,3	19,1±0,3	0,1
AF125	125±2	56,5±1	43,5±1	-	-	-	-	0,1

4.5. Zincul şi aliajele zincului

4.5.1. Zincul

Zincul a fost descoperit de romani cu circa 200 de ani înainte de Hristos şi utilizat la fabricarea alamei, împreună cu cuprul, însă faptul că el este un metal de sine stătător a fost conştientizat mult mai târziu. Primii care îl obţin sunt metalurgii indieni, în secolul XIII, la Zawar în Rājasthān, apoi cei chinezi care realizează cantităţi industriale în secolul XVI. În Europa, zincul pur este obţinut de A.S.Marggraf [8], în 1746, iar metalurgia sa este perfecţionată în secolele XVIII şi XIX în Anglia (William Champion, la Bristol), Germania (Johann Ruberg, în Silezia) şi Belgia (Jean-Jacques Dony, la Liège). Denumirea sa provine de la cuvântul german *zinn* (staniu), multă vreme fiind confundat cu staniul, cu care se aseamănă ca aspect.

Zincul reprezintă 0,004% din scoarţa terestră şi se exploatează la conţinuturi minime în zăcământ de 3…5% Zn sau 3…4% când este asociat cu plumbul. Ca minereuri de zinc se menţionează blenda (ZnS) marmatitul [varietate de blendă feruginoasă cu formula chimică (ZnFe)S], smithsonitul ($ZnCO_3$) şi zincitul (ZnO). În zăcăminte este asociat aproape totdeauna cu plumbul, răspândirea acestor zăcăminte fiind prezentată la plumb. Minereurile se concentrează prin flotaţie, până la 50…60% Zn. Din concentrate, zincul se extrage prin metode pirometalurgice şi mai rar hidrometalurgice. Metoda pirometalurgică este preponderentă constând în prăjirea aglomerantă a concentratului, urmată de o reducere prin distilare care se face în cuptoare verticale cu cuvă, procedeul permiţând extragerea concomitentă a zincului şi a plumbului.

[8] *Andreas-Sigmund MARGGRAF* (1709 – 1782) – chimist şi farmacist german, director al laboratorului de chimie al Academiei Germane de Ştiinţe din Berlin (1754 – 1760). În 1747 redescoperă zahărul din sfeclă, a cărui prezenţă fusese semnalată încă din secolul IV, îl extrage şi-l cristalizează. A mai descoperit acizii formic şi fosforic şi a elaborat un procedeu nou pentru obţinerea fosforului.

Zincul face parte din grupa a II-a secundară a tabelului periodic al elementelor, având numărul atomic 30, masa atomică 65,37, volumul atomic 9,2 şi valenţa 2. Este un metal relativ greu (ρ=7,133·10^3 kg/m^3), de culoare albă-albăstruie, al cărui luciu dispare repede, prin acoperire cu un strat de oxid protector. Se topeşte la 419,5 ˚C şi se vaporizează la 906˚C. Conductibilitatea termică la 20˚C este de 112,2 W/m·K, iar căldura specifică c_p=387,6 kJ/ kg·K. Conductibilitatea şi rezistivitatea electrică la 0˚C sunt γ =17,39 MS/m şi ρ=0,0575 $\mu\Omega$·m. Reacţionează uşor cu o serie de acizi, dar este foarte stabil în atmosferă şi în apă. Are proprietăţi mecanice slabe (R_m=100…300 MPa, $R_{p0,2}$=65…75 MPa, A=0,3…0,5 %, HB=30…40 - în stare turnată şi R_m=110…150 MPa, $R_{p0,2}$=80…100 MPa, A=42…50 %, HB=35…45 - în stare deformată plastic).

Aşa cum rezultă din datele prezentate, proprietăţile mecanice (îndeosebi alungirea) se îmbunătăţesc prin deformare plastică (laminare). Zincul poate fi considerat un material moale şi fragil (KCU=59…73,5 kJ/m^2). Din punct de vedere tehnologic, se toarnă bine, se laminează uşor şi se poate lipi sau suda.

Datorită proprietăţilor mecanice slabe, nu poate fi utilizat în construcţia de maşini, dar pentru că are o mare rezistenţă la coroziune, se foloseşte la acoperirea anticorosivă a tablelor, sârmelor, ţevilor şi pieselor din oţel (50% din producţia mondială). Se mai utilizează în zincografie (la confecţionarea clişeelor de zinc), în industria vopselelor (alb de zinc), în electrotehnică şi la fabricarea aliajelor.

4.5.2. Aliajele zincului

Alierea zincului urmăreşte în principal îmbunătăţirea proprietăţilor sale mecanice. Ca elemente de aliere se utilizează aluminiul, cuprul, magneziul, cromul şi titanul. După domeniul de întrebuinţare, aliajele de zinc pot fi aliaje pentru turnare în lingouri, aliaje pentru turnare sub presiune şi aliaje pentru turnare în piese.

4.5.2.1 Aliaje de zinc pentru turnare în lingouri. Aceste aliaje sunt livrate în mod curent sub formă de lingouri, dar pot fi disponibile şi în stare lichidă. Lingourile se retopesc şi se utilizează la fabricarea unor piese din industria automobilelor (carburatoare, vitezometre), a broaştelor, mânerelor şi ornamentelor pentru ferestre şi uşi, precum şi a fitingurilor pentru instalaţii sanitare, jucăriilor şi a diverselor instrumente şi dispozitive.

Simbolizarea acestor aliaje se face alfanumeric, numeric şi prescurtat (tabelul 4.28.). În sistemul alfanumeric, simbolul chimic al zincului este urmat de simbolurile principalelor elemente de aliere şi de conţinuturile acestora, în procente. Simbolizarea numerică se compune din literele *ZL* (aliaj de zinc) şi patru cifre: primele două cifre arată conţinutul nominal de aluminiu, a treia conţinutul nominal de cupru, iar a patra conţinutul nominal al elementului de aliere următor (dacă acest conţinut este sub 1% a patra cifră este 0). Simbolizarea prescurtată se compune din literele *ZL* (aliaj de zinc) şi una sau două cifre, fiind corelată cu simbolizările chimică şi numerică. Aceste simbolizări, precum şi compoziţiile chimice ale mărcilor sunt standardizate (SR EN 1774:2001).

Tabelul 4.28. **Aliaje de zinc pentru lingouri**

Simbolizare			Compoziția chimică [%]					Impurități [%]						Zn
Chimică	Numerică	Prescurtată	Al	Cu	Mg	Cr	Ti	Pb	Cd	Sn	Fe	Ni	Si	
ZnAl4	ZL0400	ZL3	3,8-4,2	0,03	0,03-0,06	-	-	0,003	0,003	0,001	0,020	0,001	0,020	Rest
ZnAl4Cu1	ZL0410	ZL5	3,8-4,2	0,7-1,1	0,03-0,06	-	-	0,003	0,003	0,001	0,020	0,001	0,020	Rest
ZnAl4Cu3	ZL0430	ZL2	3,8-4,2		0,03-0,06	-	-	0,003	0,003	0,001	0,020	0,001	0,020	Rest
ZnAL6Cu1	ZL0610	ZL6	5,6-6,0	1,2-1,6	-	-	-	0,003	0,003	0,001	0,020	0,001	0,020	Rest
ZnAl8Cu1	ZL0810	ZL8	8,2-8,8	0,9-1,3	0,02-0,03	-	-	0,005	0,005	0,002	0,035	0,001	0,035	Rest
ZnAl11Cu1	ZL1110	ZL12	10,8-11,5	0,5-1,2	0,02-0,03	-	-	0,005	0,005	0,002	0,05	-	0,05	Rest
ZnAl27Cu2	ZL2720	ZL27	25,5-28,0	2,0-2,5	0,01-0,02	-	-	0,005	0,005	0,002	0,07	-	0,07	Rest
ZnCu1CrTi	ZL0010	ZL16	0,01-0,04	1,0-1,5	0,02	0,1-0,2	0,15-0,25	0,005	0,004	0,003	0,04	-	0,04	Rest

4.5.2.2. Aliaje de zinc pentru turnare sub presiune. Sunt destinate turnării sub presiune a pieselor mici, cu pereţi subţiri şi cu găuri dificile (carcasele carburatoarelor şi ale unor aparate de bord, piese pentru pompe de benzină, armături ale instalaţiilor sanitare, piese din mecanica fină). Pentru că aceste aliaje devin friabile prin coroziune intercristalină datorită prezenţei plumbului şi cadmiului, zincul trebuie să fie de mare puritate (99,99%), iar impurităţile nu trebuie să depăşească anumite proporţii (Sn ≤ 0,001%, Cd ≤ 0,003%, Pb ≤ 0,005%).

În timp, suferă contracţii, micşorându-şi dimensiunile, ceea ce se poate evita printr-o recoacere de câteva ore la temperatura de 100 ˚C. Se toarnă sub presiune la temperaturi joase, de 350…420 ˚C. Au o rezistenţă la coroziune foarte bună şi proprietăţi mecanice satisfăcătoare. Ele sunt cunoscute şi sub denumirile de *zamak* şi *zimal*.

Mărcile aliajelor de zinc pentru turnare sub presiune se notează prin simbolul chimic al metalului de bază, urmat de simbolurile chimice ale elementelor componente, cu indicarea conţinutului acestora, în procente, şi de litera *T* (turnat). În tabelul 4.29 se prezintă aceste mărci (STAS 6925/1-86).

Tabelul 4.29. **Aliaje de zinc pentru turnare sub presiune**

Marca aliajului	Compoziţia chimică [%]				Impurităţi [%]				
	Al	Cu	Mg	Zn	Fe	Pb	Cd	Sn	Total
ZnAl4T	3,5-4,3	max. 0,030	0,030-0,060	Rest	0,05	0,005	0,003	0,001	0,15
ZnAl4Cu1T	3,5-4,5	0,75-1,25	0,030-0,060	Rest	0,05	0,005	0,003	0,001	0,15
ZnAl6Cu1T	5,6-6,0	1,2-1,6	max. 0,03	Rest	0,075	0,005	0,003	0,001	0,30

4.5.2.3. Aliaje de zinc turnate în piese. Aceste aliaje sunt destinate turnării pieselor în amestec de formare, în forme metalice sau sub presiune, înlocuind alama. Zincul trebuie să fie de o mare puritate, iar impurităţile sunt limitate drastic (Sn ≤ 0,002%, Cd ≤ 0,003%, Pb ≤ 0,005%). Proprietăţile mecanice sunt bune, fluiditatea şi rezistenţa la coroziune sunt bune, iar stabilitatea dimensională în timp se poate îmbunătăţi printr-o îmbătrânire artificială de 20 de ore la 95…100 ˚C.

Simbolizarea lor se face ca în cazul aliajelor de zinc turnate sub presiune. În tabelul 4.30 se prezintă mărcile standardizate în România (STAS 6925/2-88), cu compoziţii chimice, câteva caracteristici fizice, mecanice şi tehnologice şi domeniile de utilizare.

În afară de aliajele pentru turnătorie, prezentate mai sus, mai există *aliaje de zinc prelucrabile prin deformare plastică* sau *aliaje de zinc laminabile* care nu sunt standardizate în România. Acestea sunt aliaje binare (Zn-Al) sau ternare (Zn-Al-Cu), cu adaosuri de diferite alte elemente şi se livrează sub forme de bare (pentru prelucrare prin aşchiere pe maşini-unelte), table (pentru ştanţare), ţevi, sârme sau profiluri. Înlocuiesc alama, care este mai scumpă, la confecţionarea unor piese în construcţiile de maşini.

Tabelul 4.30. **Aliaje de zinc turnate în piese**

Marca aliajului	Modul de turnare	Compoziția chimică [%]									Caracteristici fizice și mecanice				Proprietăți chimice și tehnologice	Domenii de utilizare
		Elemente de aliere				Impurități (max.)										
		Al	Cu	Mg	Zn	Fe	Pb	Cd	Sn	Total	ρ [kg/dm^3]	R_m [N/mm^2] (min.)	A [%] (min.)	HB (min.)		
ZnAl4T	C P	3,5-4,3	max. 0,03	0,02-0,06	Rest	0,075	0,005	0,003	0,002	0,20	6,7	210-260	1,0-1,5	70 70	Fluiditate bună, rezistență la coroziune foarte bună, stabilitate dimensională în timp	Piese turnate pentru industria electrotehnică și industria construcțiilor de mașini.
ZnAl4 Cu1T	N C P	3,5-4,3	0,75-1,25	0,02-0,06	Rest	0,075	0,005	0,003	0,002	0,20	6,7	190 220 270	0,5 1,0 2,0	70 80 80	Fluiditate bună, rezistență bună la coroziune, stabilitate dimensională în timp	
ZnAl6 Cu1T	N C	5,6-6,0	1,2-1,6	max. 0,03	Rest	0,100	0,005	0,003	0,002	0,35	6,7	180 210	0,5 1,5	70 80	Fluiditate bună, rezistență bună la coroziune, stabilitate dimensională în timp	Piese cu configurație complexă.

Observații: N – turnare în amestec de formare; *C* - turnare în forme metalice; *T* - turnare sub presiune.

Din această categorie fac parte şi aliajele *zilloy* şi *ziskon*. *Zilloy*-ul este un aliaj al zincului cu plumbul, cuprul, cadmiul şi magneziul şi se utilizează ca material de acoperire, în locul zincului pur, asigurând o protecție anticorosivă mai bună decât a zincului. *Ziskon*-ul este un aliaj binar Zn-Al, cu 25…33% Al şi se utilizează la confecționarea unor piese din bare laminate sau trase, pentru industriile de automobile sau avioane, înlocuind alama.

4.6.Staniul şi aliajele staniului

4.6.1 Staniul

Staniul este unul dintre cele mai vechi metale folosite de om, fiind cunoscut cu 3500 de ani î.Hr., în Orientul Mijlociu şi cu 3000 de ani î.Hr. în Egipt şi utilizat la fabricarea bronzului. L-au cunoscut apoi chinezii şi romanii, ultimii dându-i şi numele (*stannum*), dar începe să fie produs în cantități industriale, în Europa Centrală, de abia în sec. XIV-XV.

Staniul reprezintă doar 0,001% din scoarța terestră şi se exploatează la conținuturi minime în zăcăminte primare de 0,2% Sn şi de 0,015% Sn în zăcăminte aluvionare. Ca minereuri de staniu se menționează casiteritul (SnO_2) şi stanina (Cu_2FeSnS_4). Zăcăminte de staniu se află în Asia de Sud-Est (China, Myanmar, Thailanda, Malaysia şi Indonezia), precum şi în Bolivia, Brazilia, Australia, Nigeria şi Zair. Țara noastră nu are astfel de zăcăminte.

Staniul se extrage din minereu numai pe cale pirometalurgică. După o prealabilă concentrare, se supune unei topiri reducătoare în cuptoare cu reverberație sau electrice. Staniul brut se rafinează apoi termic şi electrolitic, ajungând la o puritate de 99,85…99,99%.

Staniul face parte din grupa a IV-a secundară a tabelului periodic al elementelor, având numărul atomic 50, masa atomică 118,69, volumul atomic 16,3 şi valențele 2 şi 4. Este un metal netoxic, de culoare albă-argintie, relativ greu (ρ = 7,28 kg/dm^3). În aer, se acoperă cu o peliculă de oxid care îl protejează contra coroziunii în adâncime. Este moale (HB = 5), maleabil şi ductil, se topeşte la 232 ˚C şi fierbe la 2 270 ˚C. Are o căldură specifică de 226 J/kg·K, conductibilitatea termică de 0,653·10^{-2} W/kg·K şi rezistivitatea electrică de 0,115 Ω · mm^2/m, toate la temperatura de 20 ˚C. La îndoire, din cauza frecării cristalelor, se aude un pârâit numit *„strigătul staniului”*. Proprietățile mecanice sunt slabe, cu excepția alungirii (R_m = 1,9…2,1 daN/mm^2 - turnat şi R_m = 1,7 daN/mm^2 - deformat plastic; $R_{p0,2}$ = 1,2 daN/mm^2 - turnat şi A = 35…60% - turnat; A = 37% - deformat plastic; HB = 4,9…5,2%, daN/mm^2 - turnat şi HB = 5,4 daN/mm^2 - deformat plastic). La temperaturi de peste 100 ˚C îşi pierde ductilitatea, iar peste 200 ˚C devine casant. Este foarte stabil la coroziunea mediului ambiant, dar reacționează cu halogenii şi cu acizii sulfuric, clorhidric şi azotic, precum şi cu sulful. Nu e atacat de acizii organici şi de aceea se foloseşte la cositorirea cutiilor de conserve şi la fabricarea staniolului - o foaie subțire folosită la împachetarea unor alimente, pentru o bună conservare. Din punct de vedere tehnologic, staniul se prelucrează uşor prin

laminare, extrudare, forjare şi sudare, satisfăcător prin aşchiere şi greoi prin tragere (trefilare) şi ambutisare.

În ceea ce priveşte întrebuințările staniului, două au fost deja menționate, ele acoperind circa 50% din producția mondială. El se mai utilizează la fabricarea unor aliaje (pentru lipire moale, antifricțiune, bronzuri, aliaje tipografice şi uşor fuzibile). Staniul de înaltă puritate (99,999%) se poate folosi ca material semiconductor.

Staniul este livrat sub formă de lingouri. Compoziția chimică şi simbolizarea mărcilor de lingouri de staniu sunt prezentate în tabelul 4.31(SR EN 610:2000).

Tabelul 4.31. **Mărci de staniu**

Marca	Sn [%] (min.)	Impurități [%] (maximum)									
		Al	As	Bi	Cd	Cu	Fe	Pb	Sb	Zn	Total
Sn 99,99	99,99	0,0005	0,0005	0,0001	0,0005	0,0005	0,0001	0,004	0,001	0,0005	0,010
Sn 99,95	99,95	0,0005	0,004	0,005	0,0005	0,005	0,0025	0,040	0,015	0,0005	0,050
Sn 99,93	99,93	0,0005	0,004	0,005	0,0005	0,010	0,0030	0,040	0,040	0,0005	0,070
Sn 99,90	99,90	0,0010	0,030	0,010	0,0010	0,030	0,0050	0,010	0,040	0,0010	0,100
Sn 99,85	99,85	0,0010	0,030	0,030	0,0010	0,050	0,010	0,050	0,050	0,0010	0,150

4.6.2. Aliajele staniului

Staniul se aliază cu plumb, stibiu, bismut, argint, cadmiu, indiu şi cupru, rezultând aliaje pentru lipire moale (obişnuite şi care vin în contact cu produse alimentare), aliaje antifricțiune şi aliaje uşor fuzibile, ultimele fiind prezentate la aliajele plumbului.

4.6.2.1 Aliaje pentru lipire moale. Sunt aliaje binare, ternare sau complexe care se topesc la temperaturi de 200…400 ˚C şi sunt destinate lipirilor moi. Staniul poate fi aliat cu plumb, stibiu, bismut, cupru, indiu şi argint, iar aliajele se livrează sub formă de lingouri, benzi, vergele, bare, baghete, sârme, pastile, preforme sau pulbere.

Simbolizarea lor se face prin litera *S* (prescurtat de la *soldering=lipire*), urmată de simbolurile chimice ale elementelor componente şi de conținutul acestora, în procente. În tabelul 4.32 se prezintă aceste aliaje (SR EN 29453:1995).

4.6.2.2. Aliaje pentru lipire moale care intră în contact cu produse alimentare. Sunt aliaje complexe ale staniului cu stibiu, cupru şi argint, destinate executării lipirilor moi ale unor piese care pot intra în contact cu produse alimentare. Conținutul maxim de plumb este de 0,25%, iar cel de cadmiu de 0,05%, ambele fiind metale toxice.

Simbolizarea lor se face printr-un număr (1…6), în tabelul 4.33 fiind prezentată compoziția chimică a mărcilor standardizate (SR EN 611-1:2001). Ele se livrează sub formă de lingouri, table subțiri sau discuri. Sunt destul de scumpe şi se recomandă numai atunci când lipiturile vin în contact cu produsele alimentare.

Tabelul 4.32. **Aliaje pentru lipire moale pe bază de staniu**

Marca aliajului	Temperatura de topire [ºC]	Compoziția chimică [%]												
		Sn	Pb	Sb	Bi	Cd	Cu	In	Ag	Al	As	Fe	Zn	Suma impurităților
S-Sn63Pb37	183	62,5-63,5	Rest	0,12	0,10	0,002	0,05	-	-	0,001	0,03	0,02	0,001	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Sn63Pb37E	183	62,5-63,5	Rest	0,05	0,05	0,002	0,05	-	-	0,001	0,03	0,02	0,001	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Sn60Pb40	183-190	59,5-60,5	Rest	0,12	0,10	0,002	0,05	-	-	0,001	0,03	0,02	0,001	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Sn60Pb40E	183-190	59,5-60,5	Rest	0,05	0,05	0,002	0,05	-	-	0,001	0,03	0,02	0,001	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Sn63Pb37Sb	183	62,5-63,5	Rest	0,12-0,50	0,10	0,002	0,05	-	-	0,001	0,03	0,02	0,001	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Sn60Pb40Sb	183-190	59,5-60,5	Rest	0,12-0,50	0,10	0,002	0,05	-	-	0,001	0,03	0,02	0,001	0,08 (fără Sb, Bi și Cu)
S-Sn95Sb5	230-240	Rest	0,10	4,5-5,5	0,10	0,002	0,10	0,05	0,05	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Sn60Pb38Bi2	180-185	59,5-60,5	Rest	0,10	2,0-3,0	0,002	0,10	0,05	0,05	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Bi57Sn43	138	42,5-43,5	0,05	0,10	Rest	0,002	0,10	0,05	0,05	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Sn50Pb32Cd18	145	49,5-50,5	Rest	0,10	0,10	17,5-18,5	0,10	0,05	0,05	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Sn99Cu1	230-240	Rest	0,10	0,05	0,10	0,002	0,45-0,90	0,05	0,05	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Sn97Cu3	230-250	Rest	0,10	0,05	0,10	0,002	2,50-3,50	0,05	0,05	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Sn60Pb38Cu2	183-190	59,5-60,5	Rest	0,10	0,10	0,002	1,50-2,00	0,05	0,05	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Sn50Pb49Cu1	183-215	49,5-50,5	Rest	0,10	0,10	0,002	1,20-1,60	0,05	0,05	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Sn50In50	117-125	49,5-50,5	0,05	0,05	0,10	0,002	0,05	Rest	0,01	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Sn96Ag4	221	Rest	0,10	0,10	0,10	0,002	0,05	0,05	3,5-4,0	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Sn97Ag3	221-230	Rest	0,10	0,10	0,10	0,002	0,10	0,05	3,0-3,5	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Sn62Pb3Ag2	178-190	61,5-62,5	Rest	0,05	0,10	0,002	0,05	0,05	1,8-2,2	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2
S-Sn60Pb3Ag4	178-180	59,5-60,5	Rest	0,05	0,10	0,002	0,05	0,05	3,0-4,0	0,001	0,03	0,02	0,001	0,2

Tabelul 4.33. **Aliaje pentru lipire moale care intră în contact cu produse alimentare**

Numărul aliajului	Compoziția chimică [%]								
	Sn	Element	Ag	Bi	Cd	Cu	Pb	Sb	Total alte elemente
1	Rest, dar Sn +Ag min 91%	min. max.	- 4,0	- 0,5	- 0,05	1,0 2,5	- 0,25	5,0 7,0	- 0,2
2	Rest, dar min. 94%	min. max.	- 0,05	- 0,5	- 0,05	0,5 2,5	- 0,25	3,0 5,0	- 0,2
3	Rest, dar min. 91,5%	min. max.	- 0,05	- 0,5	- 0,05	0,25 2,0	- 0,25	4,5 8,0	- 0,2
4	Rest, dar min. 94%	min. max.	- 0,05	- 0,5	- 0,05	- 0,05	- 0,25	3,0 6,0	- 0,2
5	Rest, dar min. 92,5%	min. max.	- 0,05	- 0,5	- 0,05	- 0,05	- 0,25	6,5 7,5	- 0,2
6	Rest	min. max.	- 0,05	- 0,5	- 0,05	- 1,5	- 0,25	- 2,5	- 0,2

4.6.2.3. Aliaje antifricțiune. Destinația, proprietățile şi simbolizarea aliajelor antifricțiune au fost prezentate anterior (vezi § 4.4.2.1). Aliajele antifricțiune pe bază de staniu sunt mai scumpe decât cele pe bază de plumb, dar mai bune. Ele sunt aliaje ternare (Sn-Sb-Cu) sau complexe (Sn-Sb-Cu-Pb) şi se utilizează la confecționarea lagărelor cu alunecare care lucrează la presiuni mici şi turații mari. Turnarea aliajului pe suportul de oțel sau de bronz se face centrifugal. El se mai numeşte *metal-alb* sau *aliaj babit*[9], după numele inventatorului său american. În tabelul 4.34 se prezintă aceste aliaje (STAS 202-80).

4.7. Magneziul şi aliajele magneziului

4.7.1. Magneziul

Magneziul este un metal foarte uşor (ρ = 1,738 kg/dm^3), de culoare albă-argintie, maleabil şi ductil, care se topeşte la 651 ˚C şi fierbe la 1 107 ˚C. Denumirea lui provine de la *Magnesia* (district din regiunea Thessalia a vechii Grecii), unde s-au găsit zăcăminte de carbonat de magneziu (magnezit). A fost obținut de abia în 1808, sub formă de amalgam, de către chimistul englez Humphry Davy[10] şi în formă brută de către savantul francez A.A.Bussy[11], în 1828. La scară industrială a fost produs în 1886 de către compania germană Aluminium und Magnesiumfabrik Hemelingen prin electroliza carnalitei. Procedeul a fost perfecționat, tot în Germania, de către concernul IG Farbenindustrie, după 1920, precum şi în SUA, prin inventarea metodei termice de extragere.

[9]*Isaac BABBIT* (1799 - 1862) – inventator american al aliajului care îi poartă numele (1839). Inițial, aliajul era alcătuit din particule grele de cupru şi stibiu, având ca suport plumbul. Babbit este premiat de către Congresul SUA, pentru invenție, cu suma de 20 000 $, o avere pentru vremea aceea. Din anul 1834 a fost director al South Boston Iron Company.

Tabelul 4.34. **Aliaje antifricțiune pe bază de staniu**

Marca aliajului	Compoziția chimică [%]											Caracteristici tehnice			Domenii de utilizare
	Elemente de aliere				Impurități							HB	T_t [ºC]	ρ [kg/dm^3]	
	Sn	Sb	Cu	Pb	Zn	Fe	Al	As	Bi	Cd	Total				
Y-Sn89	88-90	7,0-8,0	3,0-4,0	0,35	0,05	0,1	0,05	0,10	0,008	0,05	0,20	-	424	7,39	Turnare în lagăre
Y-Sn83	82-84	10,0-12,0	5,5-6,5	0,5	0,05	0,1	0,05	0,12	0,05	-	0,25	25-32	500-550	7,5-7,7	Cuzineți pentru turbine cu abur, turbocompresoare, motoare Diesel şi locomotive
Y-Sn80	79-81	11,0-13,0	5,0-7,0	1,0-3,0	0,05	0,1	0,05	0,12	0,05	-	0,25	24-30	400-500	7,6-7,8	Cuzineți pentru maşini cu abur staționare, electromotoare şi generatoare

Observații: T_t – temperatura de turnare.

Tabelul 4.36. **Mărci de magneziu nealiat turnat**

Simbolizări material		Compoziție chimică													
Simbol chimic	Numeric	Element	Al	Mn	Si	Fe	Cu	Ni	Pb	Sn	Na	Ca	Zn	Altele fiecare	Mg
EN-MB99.5	EN-MB10010	min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		max.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	-	-	0,01	0,01	-	0,05	99,5
EN-MB99.80-A	EN-MB10020	min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		max.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,001	0,01	0,01	0,003	0,003	0,05	0,05	99,80
EN-MB99.80-B	EN-MB10021	min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		max.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,002	0,01	0,01	-	-	0,05	0,05	99,80
EN-MB99,95-A	EN-MB10030	min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		max.	0,01	0,006	0,006	0,003	0,005	0,001	0,005	0,005	0,003	0,003	0,005	0,005	99,95
EN-MB99,95-B	EN-MB10031	min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		max.	0,01	0,01	0,01	0,005	0,005	0,001	0,005	0,005	-	-	0,01	0,005	99,95

Magneziul reprezintă 1,94 % din scoarța terestră. În natură se găseşte numai sub formă de combinații, din cauza activității chimice ridicate. Mari cantități sunt dizolvate în mări şi oceane (1,3 kg/m^3) sub formă de bisofit ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$). Ca minereuri de magneziu se amintesc magnezitul ($MgCO_3$), dolomita ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$), carnalitul ($MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$) şi serpentinul ($Mg_3Si_2O_7 \cdot H_2O$).

Magneziul se obține din aceste combinații prin procedee electrochimice sau termice. În primul caz, el se obține prin electroliza clorurii de magneziu , iar în al doilea caz, prin reducerea oxidului de magneziu cu carbon. Magneziul brut este rafinat prin retopire cu fondanți, când se înlătură numai impuritățile nemetalice, sau prin distilare în vid, când se obține o puritate de 99,999%.

Magneziul face parte din grupa a II-a principală a sistemului periodic, a-vând numărul atomic 12, masa atomică 24,312, volumul atomic 14 şi valența 2. A-re căldura specifică (la 20 ˚C) de 1030 J/kg·K, conductibilitatea termică (la 0˚C) de 159 J/m·K şi rezistivitatea electrică (la 0 ˚C) de 0,046 Ω·m. Proprietățile mecanice ale magneziului sunt scăzute şi depind de procedeul de prelucrare (tabelul 4.35).

Tabelul 4.35. **Proprietățile mecanice ale magneziului**

R_m [N/mm^2]			$R_{p0,2}$ [N/mm^2]			A [%]			Z [%]			HB [N/mm^2]		
T	E	R	T	E	R	T	E	R	T	E	R	T	E	R
115	250	180	30	90	-	6	10	16	9	12	17	300	400	360

Observații: T – turnat; *E* – ecruisat; *R* – recopt.

Din punct de vedere chimic este foarte activ, reducând cu uşurință oxizii, carbonații şi hidroxizii de bor, aluminiu, siliciu, precum şi ai metalelor grele şi alcalino-pământoase şi utilizându-se ca dezoxidant în metalurgie. În aer se oxidează uşor, iar pulberea se arde cu luminozitate mare. Se combină cu halogenii, sulful, azotul şi fosforul şi, în anumite condiții, cu carbonul. Rezistența la coroziune este scăzută.

Datorită activității sale chimice, magneziul se întrebuințează în mare măsură ca dezoxidant în metalurgie, ca reducător în chimia organică şi ca modificator al fontei cenuşii prin nodulizarea grafitului. Se mai utilizează în pirotehnie (semnalizări, gloanțe trasoare, focuri de artificii, explozivi), la fabricarea tuburilor pentru radiații Roentgen, precum şi în electrotehnică, la fabricarea unor redresoare de curent. Cea mai importantă utilizare a sa este însă pentru fabricarea aliajelor.

Magneziul se poate prelucra prin turnare sau prin deformare. Topirea sa este dificilă din cauza oxidării puternice, iar turnarea se face sub presiune, în vid

[10] *Humphry DAVY* (1778 - 1829) – chimist englez care a efectuat prima electroliză cu o pilă galvanică, preparând sodiu, potasiu, calciu, bariu, stronțiu şi magneziu. A inventat lampa de siguranță a minerilor, a descoperit arcul electric, a combinat oxigenul cu hidrogenul în prezența unui fir de platină încălzit la roşu şi a demonstrat că în solul vegetal se produce azot liber prin descompunerea substanțelor organice, iar azotatul de sodiu se formează în sol prin oxidarea amoniacului din pământ cu oxigenul din aer.

[11] *Antoine-Alexandre BUSSY* (1794 - 1882) – chimist francez care a obținut magneziu prin reacția dintre potasiu şi clorura de magneziu.

sau în atmosferă de gaze protectoare. Compoziția chimică a mărcilor de magneziu turnat este prezentată în tabelul 4.36 (SR EN 12421:2000).

4.7.2. Aliajele magneziului

Magneziul se poate alia cu aluminiu, zinc, mangan, siliciu, cupru şi argint, obținându-se cele mai uşoare aliaje utilizate în tehnică (ρ=1,75…1,90 kg/dm^3). Acestea au caracteristici mecanice destul de slabe, cu excepția celor cu conținut mare de aluminiu (8…10%) care pot fi îmbunătățite prin tratament termic. La încălzire se oxidează uşor, iar la temperaturi mai mari de 600 ˚C se autoaprind. Se prelucrează uşor prin aşchiere, dar cu multă atenție, pentru că aşchiile se pot autoaprinde. Aliajele magneziului cu aluminiu, mangan şi zinc au o bună rezistență la coroziune.

Pentru că sunt foarte uşoare, aliajele magneziului au o rezistență specifică mai mare decât a aliajelor aluminiului, a bronzurilor şi a unor fonte, fiind utilizate în construcțiile de avioane, vagoane şi automobile, la fabricarea pistoanelor motoarelor cu turații mari, precum şi a corpurilor de pompe, a carcaselor şi rezervoarelor.

După tehnologia de fabricație, aliajele magneziului pot fi turnate sau deformate plastic. *Aliajele de magneziu turnate* se livrează sub formă de lingouri destinate retopirii sau se utilizează pentru obținerea directă a unor piese pentru construcții foarte uşoare. Ele se simbolizează chimic şi numeric (SR EN 1754:2000). Simbolul chimic este format din prefixul *EN* (standard european), urmat de literele *M* (magneziu), *B* (pentru lingouri) sau *C* (pentru piese turnate) şi de simbolurile chimice ale magneziului şi principalelor elemente de aliere, cu indicarea conținutului elementelor de aliere, în procente.

Simbolul numeric este alcătuit din prefixul *EN* (standard european), urmat de literele *M*, *B* sau *C* care au aceleaşi semnificații şi de un grup de cinci cifre care arată compoziția chimică. În tabelele 4.37 şi 4.38 sunt prezentate compozițiile chimice ale aliajelor de magneziu turnate în lingouri şi piese, iar în tabelele 4.39, 4.40 şi 4.41, caracteristicile mecanice ale aliajelor de magneziu turnate în amestec de formare, în cochilii şi sub presiune (SR EN 1753:2000).

Aliajele de magneziu deformabile sunt mai puțin răspândite decât cele turnate. În România nu sunt standardizate. La aceste aliaje (care conțin aluminiu, mangan, zinc, zirconiu şi ceriu) se poate realiza o îmbunătățire satisfăcătoare a caracteristicilor mecanice, asociată cu o bună prelucrabilitate prin deformare plastică (prin laminare şi forjare), printr-o recoacere de omogenizare, la 400…450 ˚C.

Călirea, urmată sau nu de îmbătrânire, le măreşte puțin duritatea, dar le reduce plasticitatea. Adaosurile de litiu, argint, cadmiu, beriliu şi unele pământuri rare au făcut ca numărul de aliaje de magneziu deformabile să crească şi în acelaşi timp să se lărgească gama lor de proprietăți.

Unele aliaje ale magneziului au denumiri specifice. Astfel, aliajul *elektron* (denumirea vine din limba germană) are la bază sistemul binar Mg-Al, cu adaosuri de Mn, Zn şi Si, în diferite proporții. El poate fi turnat sau deformabil (extrudat, laminat sau forjat) şi se caracterizează prin proprietăți mecanice bune (îndeosebi reziliența). Se utilizează în construcția de avioane, automobile şi vagoane.

Tabelul 4.37. **Aliaje de magneziu turnate în lingouri**

Grupa	Simbolizare		Compoziția chimică [%]														
	Chimică	Numerică	Conținut	Mg	Al	Zn	Mn	RE[1]	Zr	Ag	Y	Li	Si	Fe	Cu	Ni	Altele
MgAlZn	EN-MBMgAl8Znl	EN-MB21110	mm.	Rest	7,2	0,45	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			max.	-	8,5	0,9	-	-	-	-	-	-	0,05	0,004	0,025	0,001	0,01
	EN-MBMgAl9Zn1(A)	EN-MB21120	min.	Rest	8,5	0,450	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			max.	-	9,5	,9	-	-	-	-	-	-	0,05	0,004	0,025	0,001	0,01
	EN-MBMgAl9Zn1(B)	EN-MB21121	min.	Rest	8,0	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			max.	-	10,0	1,0	-	-	-	-	-	-	0,3	0,03	0,20	0,01	0,05
MgAlMn	EN-MBMgAl2Mn	EN-MB21210	min.	Rest	1,7	-	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			max.	-	2,5	0,20	-	-	-	-	-	-	0,05	0,004	0,008	0,001	0,01
	EN-MBMgAl5Mn	EN-MB21220	min.	Rest	4,5	-	0,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			max.	-	5,3	0,20	-	-	-	-	-	-	0,05	0,004	0,008	0,001	0,01
	EN-MBMgAl6Mn	EN-MB21230	min.	Rest	5,6	-	0,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			max.	-	6,4	0,20	-	-	-	-	-	-	0,05	0,004	0,008	0,001	0,01
MgAlSi	EN-MBMgAl2Si	EN-MB21310	min.	Rest	1,9	-	0,20	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-
			max.	-	2,5	0,20	-	-	-	-	-	-	1,2	0,004	0,008	0,001	0,01
	EN-MBMgAl4Si	EN-MB21320	min.	Rest	3,7	-	0,20	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-
			max.	-	4,8	0,20	-	-	-	-	-	-	1,2	0,004	0,008	0,001	0,01
MgZnCu	EN-MBMgZn6Cu3Mn	EN-MB32110	min.	Rest	-	5,5	0,25	-	-	-	-	-	-	-	2,4	-	-
			max.	-	-	6,5	0,75	-	-	-	-	-	0,20	0,05	3,0	0,01	0,01
MgZnREZr[2]	EN-MBMgZn4RE1Zr	EN-MB35110	min.	Rest	-	3.5	-	1,0	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
			max.	-	-	5,0	0,15	1,75	1,0	-	-	-	0,01	0,01	0,03	0,005	0,01
	EN-MBMgRE3Zn2Zr	EN-MB65120	min.	Rest	-	2,0	-	2,4	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
			max.	-	-	3,0	0,15	4,0	1,0	-	-	-	0,01	0,01	0,03	0,005	0,01
MgREAgZr[3]	EN-MBMgRE2Ag2Zr	EN-MB65210	min.	Rest	-	-	-	2,0	0,1	2,0	-	-	-	-	-	-	-
			max.	-	-	0,2	0,15	3,0	1,0	3,0	-	-	0,01	0,01	0,03	0,005	0,01
	EN-MBMgRE2Ag1Zr	EN-MB65220	min.	Rest	-	-	-	1,5	0,1	1,3	-	-	-	-	0,05	-	-
			max.	-	-	0,2	0,15	3,0	1,0	1,7	-	-	0,01	0,01	0,10	0,005	0,01
MgYREZr[4]	EN-MBMgY5RE4Zr	EN-MB95310	min.	Rest	-	-	-	1,5	0,1	-	4,75	-	-	-	-	-	-
			max.	-	-	0.20	0,15	4,0	1,0	-	5,5	0,20	0,01	0,01	0,03	0,005	0,01
	EN-MBMgY4RE3Zr	EN-MB95320	min.	Rest	-	-	-	2,4	0,1	-	3,7	-	-	-	-	-	-
			max.	-	-	0,20	0,15	4,4	1,0	-	4,3	0,20	0,01	0,01	0,03	0,005	0,01

Observații la tab.4.37 și 4.38: [1] Pământuri rare; [2] Îmbogățit în ceriu; [3] Îmbogățit în neodim; [4] Îmbogățit în neodim și pământuri rare grele; *S* – turnare în amestec de formare; *L* – turnare de precizie (cu modele ușor fuzibile); *K* – turnare în forme permanente; *D* – turnare sub presiune.

Tabelul 4.38. **Aliaje de magneziu turnate în piese**

Grupa	Simbolizare		Procedeul de turnare	Compoziția chimică [%]														
	Chimică	Numerică		Conținut	Mg	Al	Zn	Mn	RE[1]	Zr	Ag	Y	Li	Si	Fe	Cu	Ni	Altele
MgAlZn	EN-MCMgAl8Zn1	EN-MC21110	D	min. max.	Rest -	7,0 8,7	0,35 1,0	0,1 -	- -	- -	- -	- -	- -	- 0,10	- 0,005	- 0,030	- 0,002	- 0,01
	EN-MCMgAI8Zn1	EN-KC21110	S, K, L	min. max.	Rest -	7,0 8,7	0,40 1,0	0,1 -	- -	- -	- -	- -	- -	- 0,20	- 0,005	- 0,030	- 0,001	- 0,01
	EN-MCMgAl9Zn1(A)	EN-MC21120	D	min. max.	Rest -	8,3 9,7	0,35 1,0	0,1 -	- -	- -	- -	- -	- -	- 0,10	- 0,005	- 0,030	- 0,002	- 0,01
	EN-MCMgAl9Zn1(A)	EN-MC21120	S, K, L	min. max.	Rest -	8,3 9,7	0,40 1,0	0,1 -	- -	- -	- -	- -	- -	- 0,20	- 0,005	- 0,030	- 0,001	- 0,01
	EN-MCMgAl9Zn1(B)	EN-MC21120	D, S, K, L	min. max.	Rest -	8,0 10,0	0,3 1,0	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- 0,3	- 0,03	- 0,20	- 0,01	- 0,05
MgAl Mn	EN-MCMgAl2Mn	EN-MC21210	D	min. max.	Rest -	1,6 2,6	- 0,2	0,1 -	- -	- -	- -	- -	- -	- 0,10	- 0,005	- 0,010	- 0,002	- 0,01
	EN-MCMgAl5Mn	EN-MC21220	D	min. max.	Rest -	4,4 5,5	- 0,2	0,1 -	- -	- -	- -	- -	- -	- 0,10	- 0,005	- 0,010	- 0,002	- 0,01
	EN-MCMgAl6Mn	EN-MC21230	D	min. max.	Rest -	5,5 6,5	- 0,2	0,1 -	- -	- -	- -	- -	- -	- 0,10	- 0,005	- 0,010	- 0,002	- 0,01
MgAlSi	EN-MCMgAl2Si	EN-MC21310	D	min. max.	Rest -	1,8 2,6	- 0,2	0,1 -	- -	- -	- -	- -	- -	0,7 1,2	- 0,005	- 0,010	- 0,002	- 0,01
	EN-MCMgAl4Si	EN-MC21310	D	min. max.	Rest -	3,5 5,0	- 0,2	0,1 -	- -	- -	- -	- -	- -	0,50 1,5	- 0,005	- 0,010	- 0,002	- 0,01
MgZnCu	EN-MCMgZn6Cu3Mn	EN-MC32110	S, K, L	min. max.	Rest -	- -	5,5 6,5	0,25 0,75	- -	- -	- -	- -	- -	- 0,20	- 0,05	2,4 3,0	- 0,01	- 0,01
MgZn REZr[2]	EN-MCMgZn4RE1Zr	EN-MC35110	S, K, L	min. max.	Rest -	- -	3,5 5,0	- 0,15	0,75 1,75	0,4 1,0	- -	- -	- -	- 0,01	- 0,01	- 0,03	- 0,005	- 0,01
	EN-MCMgRE3Zn2Zr	EN-MC65120	S, K, L	min. max.	Rest -	- -	2,0 3,0	- 0,15	2,5 4,0	0,4 1,0	- -	- -	- -	- 0,01	- 0,01	- 0,03	- 0,005	- 0,01
MgRE AgZr[3]	EN-MCMgRE2Ag2Zr	EN-MC65210	S, K, L	min. max.	Rest -	- -	- 0,2	- 0,15	2,0 3,0	0,4 1,0	2,0 3,0	- -	- -	- 0,01	- 0,01	- 0,03	- 0,005	- 0,01
	EN-MCMgRE2Ag1Zr	EN-MC65220	S, K, L	min. max.	Rest -	- -	- 0,2	- 0,15	1,5 3,0	0,4 1,0	1,3 1,7	- -	- -	- 0,01	- 0,01	0,05 0,10	- 0,005	- 0,01
MgY REZr[4]	EN-MCMgY5RE4Zr	EN-MC95310	S, K, L	min. max.	Rest -	- -	- 0,2	- 0,15	1,5 4,0	0,4 1,0	- -	4,75 5,5	- 0,2	- 0,01	- 0,01	- 0,03	- 0,005	- 0,01
	EN-MCMgY4RE3Zr	EN-MC95320	S, K, L	min. max.	Rest -	- -	- 0,2	- 0,15	2,4 4,4	0,4 1,0	- -	3,7 4,3	- 0,2	- 0,01	- 0,01	- 0,03	- 0,005	- 0,01

Tabelul 4.39. **Caracteristicile mecanice ale aliajelor de magneziu turnate în amestec de formare**

Grupa	Simbolizare		Felul tratamen-tului termic	Caracteristici mecanice			
	Chimică	Numerică		R_m [N/mm²] min.	$R_{p0,2}$ [N/mm²] min.	A [%] min.	HB[1]
MgAlZn	EN-MCMgAl8Zn1	EN-MC21110	F	160	90	2	50-65\
			T4	240	90	8	50-65
	EN-MCMgAl9Zn1 (A)	EN-MC21120	F	160	90	2	50-65
			T4	240	110	6	55-70
			T6	240	150	2	60-90
MgZnCu	EN-MCMgZn6Cu3Mn	EN-MC32110	T6	195	125	2	55-65
MgZn REZr	EN-MCMgZn4RE1Zr	EN-MC35110	T5	200	135	2,5	55-70
	EN-MCMgRE3Zn2Zr	EN-MC65120	T5	140	95	2,5	50-60
MgRE AgZr	EN-MCMgRE2Ag2Zr	EN-MC65210	T6	240	175	2	70-90
	EN-MCMgRE2Ag1Zr	EN-MC65220	T6	240	175	2	70-90
MgYREZr	EN-MCMgY5RE4Zr	EN-MC95310	T6	250	170	2	80-90
	EN-MCMgY4RE3Zr	EN-MC95320	T6	220	170	2	75-90

Observații: [1] Valorile prezentate sunt orientative; *F* – brut de turnare; T_4 – punere în soluție şi îmbătrânire naturală; T_5 – brut de turnare şi îmbătrânire artificială; T_6 - punere în soluție şi îmbătrânire artificială.

Tabelul 4.40. **Caracteristicile mecanice ale aliajelor de magneziu turnate în cochilii**

Grupa	Simbolizare		Felul tratamen-tului termic	Caracteristici mecanice			
	Chimică	Numerică		R_m [N/mm²] min.	$R_{p0,2}$ [N/mm²] min.	A [%] min.	HB[1]
MgAlZn	EN-MCMgAl8Zn1	EN-MC21110	F	160	90	2	50-65\
			T4	240	90	8	50-65
	EN-MCMgAl9Zn1 (A)	EN-MC21120	F	160	110	2	55-70
			T4	240	120	6	55-70
			T6	240	150	2	60-90
MgZnCu	EN-MCMgZn6Cu3Mn	EN-MC32110	T6	195	125	2	55-65
MgZn REZr	EN-MCMgZn4RE1Zr	EN-MC35110	T5	210	135	3	55-70
	EN-MCMgRE3Zn2Zr	EN-MC65120	T5	145	100	3	50-60
MgRE AgZr	EN-MCMgRE2Ag2Zr	EN-MC65210	T6	240	175	3	70-90
	EN-MCMgRE2Ag1Zr	EN-MC65220	T6	240	175	2	70-90
MgYREZr	EN-MCMgY5RE4Zr	EN-MC95310	T6	250	170	2	80-90
	EN-MCMgY4RE3Zr	EN-MC95320	T6	220	170	2	75-90

Observații: [1] Valorile prezentate sunt orientative; *F* – brut de turnare; T_4 – punere în soluție şi îmbătrânire naturală; T_5 – brut de turnare şi îmbătrânire artificială; T_6 - punere în soluție şi îmbătrânire artificială.

Tabelul 4.41. **Caracteristicile mecanice ale aliajelor de magneziu turnate sub presiune**

Grupa	Simbolizare		Felul tratamen-tului termic	Caracteristici mecanice			
	Chimică	Numerică		R_m [N/mm^2] min.	$R_{p0,2}$ [N/mm^2] min.	A [%] min.	HB[1]
MgAlZn	EN-MCMgAl8Zn1	EN-MC21110	F	200 - 250	140 -160	1 - 7	60 - 85
	EN-MCMgAl9Zn1(A)	EN-MC21120	F	200 - 260	140 - 170	1 - 6	65 - 85
MgAlMn	EN-MCMgAl2Mn	EN-MC21210	F	150 - 220	80 - 100	8 - 18	40 - 55
	EN-MCMgAl5Mn	EN-MC21220	F	180 -230	110 - 130	5 - 15	50 - 65
	EN-MCMgAl6Mn	EN-MC21230	F	190 - 250	120 - 150	4 - 14	55 - 70
	EN-MCMgAl7Mn	EN-MC21240	F	200 - 260	130 - 160	3 - 10	60 - 75
MgAlSi	EN-MCMgAl2Si	EN-MC21310	F	170 - 230	110 - 130	4 - 14	50 - 70
	EN-MCMgAl4Si	EN-MC21320	F	200 – 250	120 - 150	3 - 12	55 - 80

Observaţii: [1] Valorile prezentate sunt orientative; *F* – brut de turnare.

Un alt aliaj al magneziului cu denumire specifică este *magnuminiul* care are ca elemente principale de aliere aluminiul, zincul şi manganul, conţinând şi cantităţi mai mici de staniu şi argint. El se toarnă sub presiune şi se extrudează, având aceleaşi întrebuinţări ca şi elektronul.

4.8. Dicţionar român-englez-francez de cuvinte-cheie

metal neferos	non-ferrous metal	métal (*m*) non ferreux
aliaj neferos	non-ferrous alloy	alliage (*m*) non ferreux
cupru	copper	cuivre (*m*)
aliaje de cupru	copper alloys	alliages (*m*) de cuivre
alamă	brass	laiton (*m*)
bronz	bronze	bronze (*m*)
bronz cu staniu	tin bronze	bronze (*m*) à l´étain
bronz cu aluminiu	aluminium bronze	bronze (*m*) d´aluminium
alpacá	German silver	maillechort (*m*)
constantan	constantan	constantan (*m*)
aluminiu	aluminium	aluminium (*m*)
aliaje de aluminiu	aluminium alloys	alliages (*m*) d´aluminium
silumin	alpax; silumin	alpax (*m*); silumin (*m*)
duraluminiu	duralumin	duralumin (*m*)
plumb	lead	plomb (*m*)
aliaj antifricţiune	antifriction alloy	alliage (*m*) antifriction
aliaj tipografic	printing alloy	alliage (*m*) typographique
aliaj pentru lipire moale	soft solder alloy	alliage (*m*) de brasage tendre
aliaj uşor fuzibil	low-melting alloy	alliage (*m*) facilement fusible
zinc	zinc	zinc (*m*)
staniu	tin	étain (*m*)
magneziu	magnesium	magnésium (*m*)

5

TRATAMENTE TERMICE

5.1. Generalități

Tratamentul termic este un procedeu tehnologic care constă în încălzirea unui material până la o anumită temperatură, menținerea la această temperatură, urmată de o răcire care se face în condiții determinate, în scopul obținerii anumitor proprietăți fizice sau mecanice. Această succesiune de operații se numeşte *ciclu de tratament termic* şi se poate reprezenta grafic (fig.5.1): *1* **–** încălzire; *2* **–** durată de menținere la temperatură; *3* – răcire. Un tratament termic este deci caracterizat de următorii parametri:

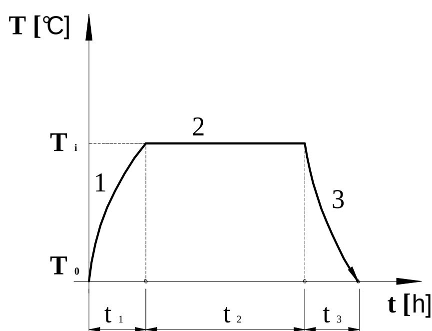


Fig. 5.1. Diagrama unui tratament termic.

***a) - Viteza de încălzire* (*v_i*)** nu influențează în măsură prea mare rezultatul tratamentului termic, dar poate influența rezistența la rupere, dilatația şi deformația la cald a piesei şi poate produce degradări ale materialului. Din aceste considerente, viteza de încălzire se alege ținând seama de conductivitatea termică a materialului şi compoziția sa chimică, precum şi de complexitatea pieselor. Un oțel cu mult carbon sau cu elemente de aliere sau o piesă complexă se vor încălzi cu viteză mai mică şi invers.

Viteza de încălzire se calculează cu relația:

$$v_i = \frac{T_i - T_0}{t_1} \quad [^{\circ}\mathrm{C/h}] \qquad (5.1)$$

unde: T_i - temperatura de încălzire, ºC; T_0 - temperatura mediului ambiant, ºC; t_1 - durata încălzirii, *h*.

***b) - Temperatura de încălzire* (*T_i*)** se alege după felul tratementului termic şi compoziția chimică a materialului. În practica industrială, cazul cel mai frecvent este acela când tratamentul termic este indicat de către proiectant, iar materialul din care este confecționată piesa este standardizat, recurgându-se la indicațiile şi recomandările cuprinse în standarde. În celelalte situații, determinarea temperaturii de încălzire se face experimental, prin încercări succesive.

***c) - Durata de menţinere la temperatură* (t_2)** este timpul în care piesa este menţinută în cuptor, astfel încât întreaga masă a ei să atingă temperatura cuptorului, încălzirea făcându-se în straturi succesive, de la exterior către interior. Transformările de structură prevăzute trebuie să aibă loc în toată masa piesei.

***d) - Viteza de răcire* (v_r)** este parametrul cel mai important al unui tratament termic, de ea depinzând structura materialului tratat termic, precum şi caracteristicile mecanice ale acestuia. Dacă viteza de răcire este lentă, vom avea o recoacere, dacă este rapidă – o călire, iar dacă are o valoare medie - o revenire. Ca medii de răcire se utilizează: cuptorul, aerul, uleiurile, apa, soluţii de săruri în apă şi sărurile topite.

Viteza de răcire se calculează cu relaţia:

$$v_r = \frac{T_i - T_0}{t_3} \quad [^{\circ}C/h, min, s] \tag{5.2}$$

Clasificarea tuturor tratamentelor termice se face conform schemei din fig.5.2.

5.2. Recoacerea

Recoacerea este un tratament termic primar, aplicat îndeosebi semifabricatelor, care constă în încălzirea până la o temperatură la care se produc transformări structurale, menţinerea la această temperatură şi apoi o răcire lentă, de obicei în cuptor. Prin recoacere se urmăreşte realizarea unui anumit echilibru fizico-chimic sau structural, ea putând avea ca scop obţinerea unuia din următoarele rezultate: înmuiere, uşurarea prelucrării prin aşchiere, înlăturarea tensiunilor interne, omogenizarea structurii, recristalizarea, obţinerea unor anumite structuri. După cum se urmăreşte obţinerea unuia sau altuia din aceste rezultate, se deosebesc următoarele tipuri de recoaceri:

a) - Recoacerea completă se aplică oţelurilor hipoeutectoide şi se realizează prin încălzirea materialului cu 30÷50 ºC peste linia A_{c3} (domemeniul *1*, fig.5.3) şi răcire înceată, cu 10÷20 ºC/h, odată cu cuptorul, până la 500÷600 ºC, pentru formarea perlitei şi feritei, răcirea putând continua în aer. Se face pentru regenerarea structurii produse de supraîncălzirea materialului, în urma unor operaţii de prelucrare la cald (turnare, forjare), iar la oţelurile cu conţinut mai mare de carbon, pentru distrugerea reţelei de carburi. Nu se recomandă folosirea recoacerii complete la oţelurile hipereutectoide, deoarece se favorizează separarea carburilor în reţea şi se înrăutăţesc proprietăţile mecanice.

b) - Recoacerea incompletă se aplică atât oţelurilor hipoeutectoide, cât mai ales, celor hipereutectoide şi constă în încălzirea acestora cu 30÷50 ºC peste linia A_{c1} (domeniul *2*, fig.5.3), răcirea făcându-se foarte lent cu 10÷20 ºC/h, până la 600 ºC, după care poate continua în aer. Prin recristalizarea perlitei, urmată de o răcire lentă, are loc micşorarea gradului de dispersie a acesteia şi, deci, micşorarea durităţii. Ea se aplică pentru detensionare şi îmbunătăţirea prelucrabilităţii prin aşchiere.

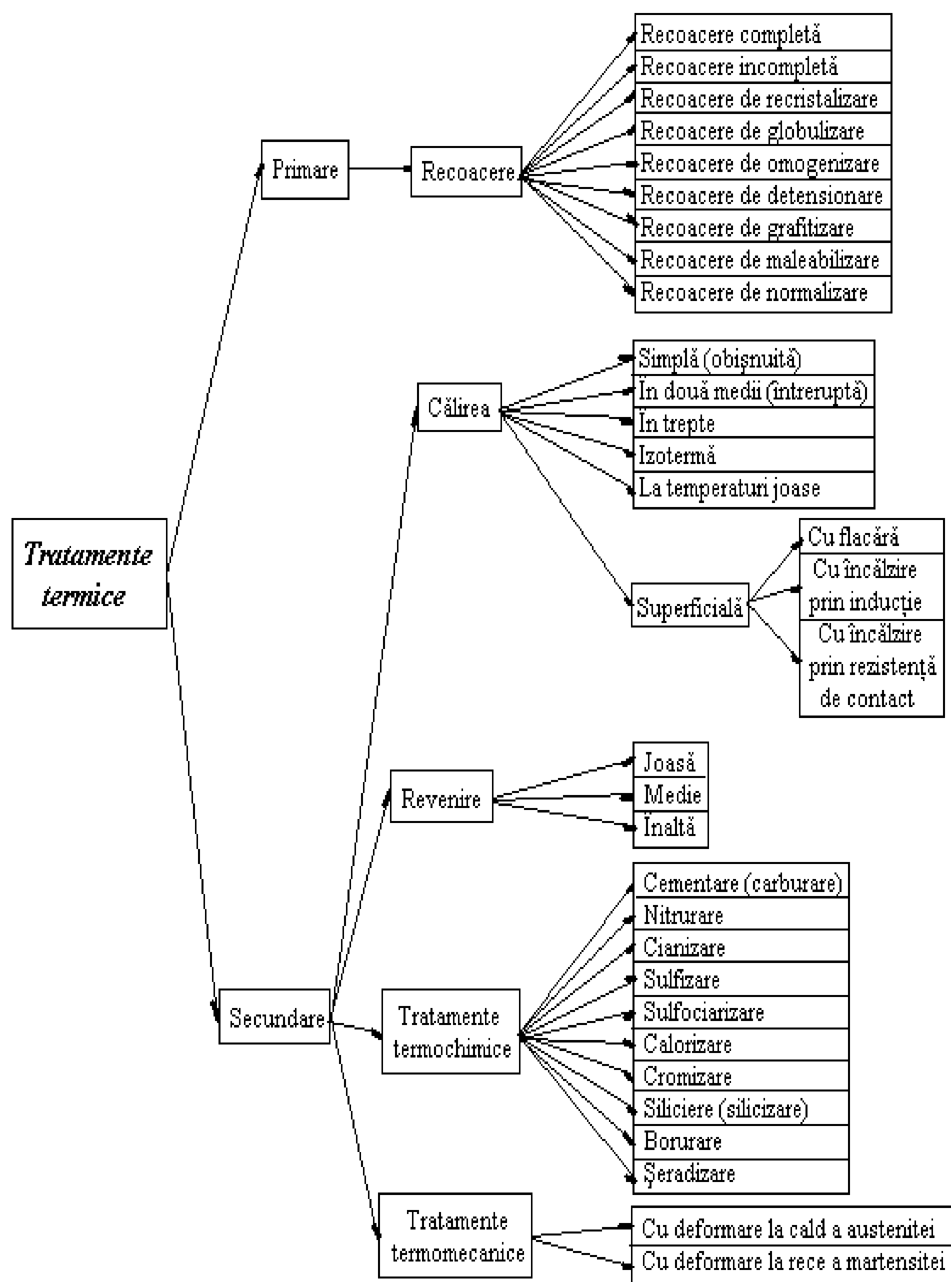


Fig. 5.2. Clasificarea tratamentelor termice.

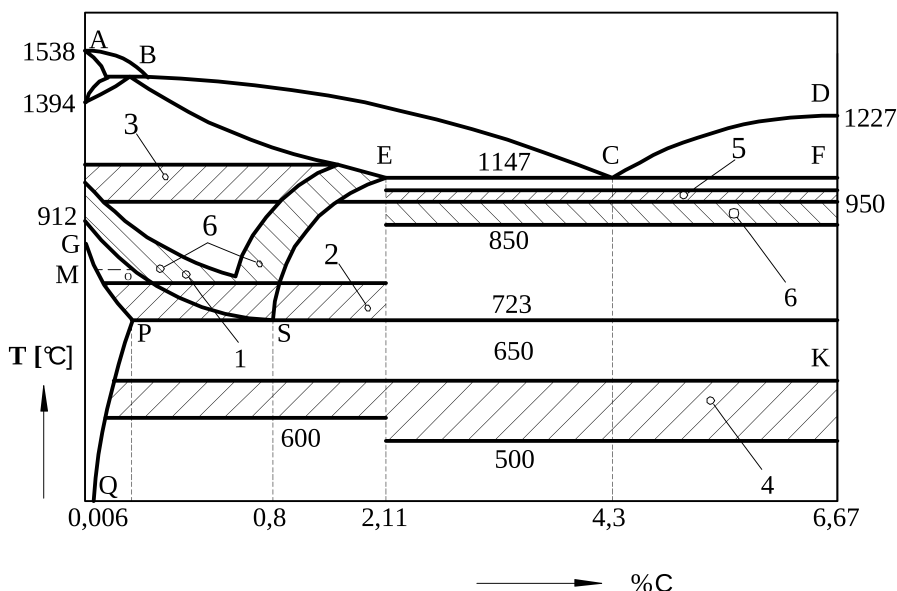


Fig.5.3. Alegerea temperaturii de recoacere după diagrama fier-cementită.

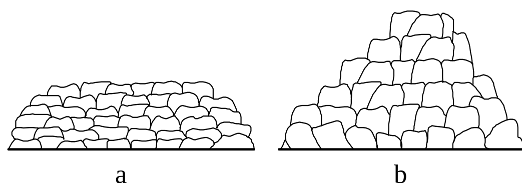


Fig.5.4. Strat superficial ecruisat şi normal.

c) - Recoacerea de recristalizare se aplică produselor metalice deformate plastic la rece care sunt ecruisate (fig.5.4.a), în scopul înlăturării ecruisării şi readucerii materialului în starea inițială (fig.5.4.b). Ecruisarea conduce la alungirea şi turtirea grăunților cristalini şi are ca efect creşterea rezistenței la rupere R_m şi a durității *HB* şi micşorarea alungirii relative *A* şi a rezilienței *KCU* (fig.5.5), stratul ecruisat fiind dur şi fragil.

Temperatura de încălzire pentru recoacerea de recristalizare este, de obicei, cu 50÷150 °C mai mare decât temperatura de recristalizare a materialului metalic respectiv care se calculează cu relația:

$$T_r \cong 0{,}4 \cdot T_t \qquad (5.3)$$

unde T_t - este temperatura de topirea metalului. Ea se aplică benzilor, sârmelor, țevilor şi barelor trase şi extrudate la rece, din oțel sau aliaje neferoase.

d) - Recoacerea de globulizare (de înmuiere) se aplică oțelurilor pentru scule pentru a transforma cementita lamelară în cementită globulară, realizându-se

astfel duritate mai mică, rezilienţă mai mare şi prelucrabilitate prin aşchiere mai bună. Ea constă într-o încălzire pendulară în jurul punctului A_{c1} (723 ºC), trei-patru cicluri fiind suficiente, urmată de o răcire lentă (fig.5.6).

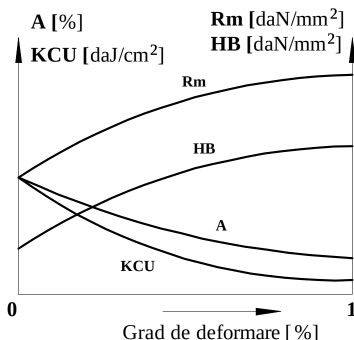


Fig.5.5. Influenţa ecruisării asupra proprietăţilor mecanice.

La încălzirea oţelului peste 723 ºC, apar în structură centre de austenită, iar la răcirea sub temperatura de 723 ºC, apar centre de cristalizare a perlitei. La încălzirile următoare, aceste centre nu au timp să se dizolve, iar la răcirile ulterioare apar noi centre de cristalizare a perlitei. Numărul mare de centre favorizează globulizarea perlitei.

e) - Recoacerea de omogenizare constă în încălzirea şi menţinerea îndelungată (20÷100 ore) la o temperatură de 1000÷1150 ºC a materialului (domeniul *3*, fig.5.3), în scopul omogenizării compoziţiei chimice şi a proprietăţilor, după diferite direcţii. Prin încălzirea la temperaturi apropiate de linia solidus se înlătură segregaţiile, dar cresc şi grăunţii de austenită, obţinându-se în final o structură cu granulaţie grosolană, caracterizată prin tenacitate redusă. Pentru corectarea acestui defect este necesară aplicarea ulterioară a unei recoaceri de normalizare. Ca urmare, recoacerea de omogenizare este un tratament costisitor care se aplică numai în cazuri bine justificate, cum ar fi piesele sau lingourile turnate din oţeluri aliate.

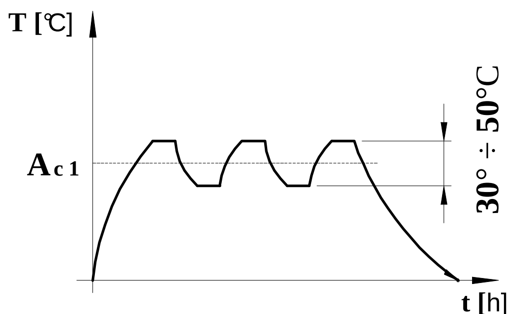


Fig. 5.6. Diagrama recoacerii de globulizare.

Acest tratament se aplică de asemenea bronzurilor şi aliajelor de aluminiu şi de titan.

f) - Recoacerea de detensionare (domeniul *4*, fig.5.3) se aplică produselor turnate, forjate, deformate plastic la rece sau sudate, înainte de prelucrarea prin aşchiere, pentru înlăturarea tensiunilor interne. Piesele din oţel se încălzesc la 600÷650ºC, iar cele de fontă, la 500÷650 ºC, răcindu-se apoi lent, până la 150÷200ºC şi în continuare în aer liniştit.

Recoacerea de detensionare se aplică şi metalelor şi aliajelor neferoase , în acest caz temperaturile de încălzire fiind joase (400÷500 ºC), iar duratele de menţinere, scurte (0,5÷2 ore), datorită plasticităţii ridicate a acestora.

g) - Recoacerea de grafitizare (procedeu american) se aplică fontelor albe şi constă în încălzirea acestora la 950 °C timp de 50÷60 ore, urmată de o răcire cu viteză mică. Această operaţie are ca scop transformarea fontei albe, dură şi casantă, în fontă maleabilă, moale şi plastică. Fontele tratate prin acest procedeu sunt cunoscute şi sub denumirea de *fonte maleabile cu inimă neagră*, deoarece în ruptură au o culoare mai închisă la interior şi mai deschisă la exterior. De fapt, stratul exterior este format din perlită, căci în timpul încălzirii, piesa se află într-un mediu neutru (nisip, zgură). Maleabilizarea fontei albe se obţine prin descompunerea cementitei *1* şi formarea unor cuiburi de grafit *2* într-o masă perlitică *3*, sorbitică *4*, sau feritică *5* (fig.5.7).

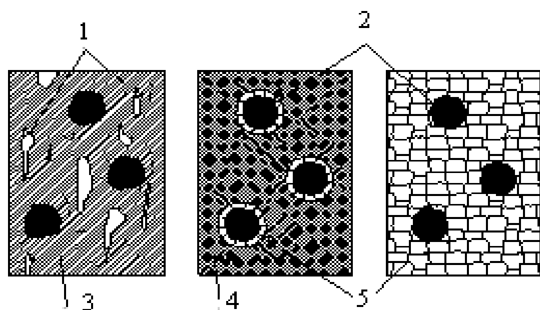


Fig.5.7. Recoacerea de grafitizare a fontei.

h) - Recoacerea de maleabilizare (procedeu european) se aplică, de asemenea, fontelor albe şi are acelaşi scop ca şi recoacerea de grafitizare, deosebindu-se de aceasta prin faptul că încălzirea nu se face într-un mediu neutru ci într-o atmosferă oxidantă de minereu de fier. Mediul oxidant favorizează decarburarea stratului superficial, unde au loc următoarele reacţii:



$$Fe_3C = 3Fe + C \quad (5.4)$$



$$Fe_2O_3 + Fe = 3FeO \quad (5.5)$$



$$FeO + C = Fe + CO \quad (5.6)$$

De fapt, decarburarea este lentă şi din ce în ce mai mai puţin eficace, pe măsură ce grosimea piesei creşte. Practic, se obţin rezultate bune la piese a căror grosime nu depăşeşte 20 mm. Tratamentul constă în încălzirea fontei albe la 950÷1000 °C timp de 75 de ore (domeniul *5*, fig.5.3), urmată de o răcire lentă. Structura fontei va fi perlitică, în miez şi feritică, la suprafaţă. În ruptură, fonta are culoare deschisă la interior şi mai închisă la suprafaţă, fiind denumită *fontă cu inimă albă.*

i) - Recoacerea de normalizare (domeniul *6*, fig.5.3) constă în încălzirea oţelurilor hipoeutectoide cu 30÷50 °C peste linia A_{c1}, a celor hipereutectoide cu 30÷50 °C peste linia A_{cem}, iar a fontelor la 850÷950 °C şi viteză mai mare ca la celelalte recoaceri, în aer liniştit. Normalizarea are drept scop realizarea unei structuri fine şi omogene şi, prin aceasta, obţinerea unor proprietăţi mecanice superioare. Ea se aplică după deformarea plastică la cald, turnare sau sudare.

5.3. Călirea

5.3.1. Generalități

Călirea este un tratament termic secundar care se aplică pieselor prelucrate şi constă în încălzirea acestora peste punctul critic de transformare, urmată de o răcire rapidă, pentru creşterea durității şi a rezistenței la uzură. Oțelurile hipoeutectoide se încălzesc cu 30÷50 ºC peste linia A_{c3}, cele hipereutectoide cu 50÷70 ºC peste linia A_{c1}, iar fontele la 850÷950 ºC (fig.5.8). Răcirea se face cu viteze mari, obținându-se structuri cu totul diferite de cele indicate în diagrama de echilibru Fe–C. Aceste modificări de structură determină obținerea unor alte însuşiri ale materialului. Înțelegerea acestor transformări reclamă studierea descompunerii austenitei subrăcite, ceea ce se face prin trasarea unei diagrame de transformare temperatură – timp, numită şi diagrama de descompunere izotermă a austenitei.

Fig.5.8. Alegerea temperaturilor de călire după diagrama fier-cementită.

În fig.5.9 este prezentată o astfel de diagramă pentru un oțel eutectoid, cu 0,8 % C. Curba *I* reprezintă locul geometric al timpilor de incubație, corespunzători diferitelor temperaturi. Timpul de incubație este timpul scurs între momentul aducerii austenitei la temperatura de subrăcire dorită şi momentul începerii descompunerii acesteia. Ca atare, în stânga şi deasupra curbei *I* avem austenită netransformată. Curba *II* reprezintă locul geometric al punctelor în care întreaga austenită subrăcită s-a transformat în alți componenți. Între curbele *I* şi *II* are loc procesul descompunerii austenitei, adică aici sunt prezente atât austenita, cât şi produsele descompunerii sale.

După cum s-a menționat cu ocazia studierii diagramei fier–cementită (vezi fig.3.2), prin descompunerea austenitei la temperatura de 723 ºC, se formează un

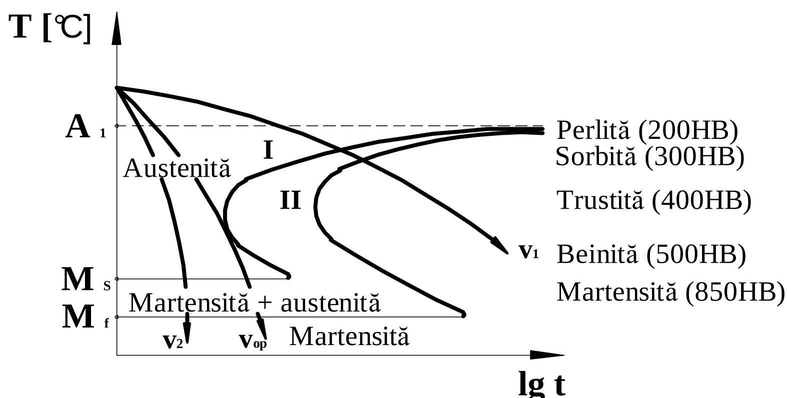


Fig.5.9. Determinarea vitezei de răcire la călire.

amestec mecanic de ferită şi cementită secundară, numit *perlită,* cu duritatea de 200 HB. Dacă transformarea are loc între 650÷600 ºC se obţine un constituent format din lamele foarte fine de ferită şi cementită cu grosimea de 0,2 μm numit *sorbită,* după numele lui H.C. Sorby[1]. Între 600÷500 ºC, se obţine un constituent mai dur, numit *trustită*, după numele lui L. J. Troost[2]. La microscopul electronic, trustita de călire apare sub formă de lamele foarte fine de cementită, distribuite în formă de evantai în masa de ferită. Între 500÷300 ºC se obţine un alt constituent, *beinită*, după numele metalurgului american E.C. Bain[3], care are un aspect acicular şi este un amestec de particule de ferită suprasaturată în carbon şi carbură de fier. La temperaturi şi mai scăzute, austenita se transformă într-un constituent foarte dur, numit *martensită*, după numele metalurgului german A. Martens[4]. Martensita este o soluţie suprasaturată de carbon în Feα. Temperatura cea mai mare la care apare martensita se numeşte punct martensitic superior (M_s), iar temperatura la care

---

[1] *Henry-Clyfton SORBY* (1826 – 1908) – chimist şi geolog englez care a elaborat metoda de pregătire a probelor metalografice pentru studiul microscopic al structurii lor, fiind printre primii cercetători ai structurii materialelor metalice (1863). A mai efectuat studii de geologie , biologie şi arheologie, având şi contribuţii în domeniul spectroscopiei.

[2] *Louis-Joseph TROOST* (1825 – 1911) – chimist francez, profesor de chimie la Sorbona şi membru al Academiei Franceze de Ştiinţe. A efectuat cercetări asupra aliajelor fierului, nichelului şi cobaltului şi a studiat porozitatea metalelor la temperaturi înalte şi solubilitatea gazelor în metale, precum şi influenţa conţinutului de siliciu şi mangan asupra fontelor. A mai făcut studii privind obţinerea zirconiului prin reducerea derivaţilor lui halogenaţi cu aluminiu, sodiu sau fier şi a descoperit constituentul oţelului ce-i poartă numele.

[3] *Edgar-Collins BAIN* (1891 – 1971) – metalurg american cu cercetări şi publicaţii în domeniul metalurgiei oţelului. A studiat aranjarea structurală a atomilor în metale şi în special în oţel şi a stabilit rolul pe care îl au elementele de bază la alierea oţelurilor. A descoperit constituentul care îi poartă numele şi, împreună cu W. Devenport, a trasat diagrama de transformare temperatură – timp a oţelului (1929).

[4] *Adolf MARTENS* (1850 – 1914) – inginer metalurg german care a efectuat cercetări în domeniul metalurgiei fontei şi oţelului. A mai studiat microscopia metalografică, suprafeţele de rupere şi a elaborat metode de lustruire a probelor şi atac metalografic. În 1890 a descoperit fragilitatea la albastru a oţelului.

se termină transformarea austenitei în martensită se numeşte punct martensitic inferior (M_f).

După trasarea curbelor de transformare temperatură-timp (*TTT*) se poate stabili viteza optimă de răcire, suprapunând curbele de răcire peste diagrama descompunerii austenitei (fig.5.9). Dacă răcirea se face cu viteza v_1, lentă, curba de răcire intersectează liniile diagramei la temperaturi înalte şi în final se obţine perlită, deci oţelul nu se căleşte. Dacă răcirea se face cu viteza v_2, foarte mare, în final se obţine numai martensită, dar în acelaşi timp se introduc tensiuni interne mari. Viteza optimă de răcire este v_{op}, tangentă la curba de început de transformare. În tabelul 5.1 se prezintă vitezele de răcire ale câtorva medii utilizate la călirea oţelurilor.

Tabelul 5.1. **Vitezele de răcire ale unor medii utilizate la călire**

Mediul de călire	Viteza de răcire, în $^oC/s$, în intervalul de temperaturi:	
	650...550	300...200
Apă la 18 ^oC	600	270
Apă la 26 ^oC	500	270
Apă la 50 ^oC	100	270
Apă la 74 ^oC	30	200
Soluţie de NaOH 10% la 18 ^oC	1200	300
Soluţie de NaCl 10% la 18 ^oC	750	300
Apă distilată	250	200
Soluţie de săpun	30	200
Ulei mineral	150	30
Ulei de transformator	120	25
Aliaj 75%Sn + 25%Cd la 175 ^oC	450	50

5.3.2. Metode de călire

Diversitatea mare a mărcilor de oţeluri, având viteze şi temperaturi de transformare diferite, precum şi complexitatea şi proprietăţile variate ale pieselor, conduc la un număr mare de metode de călire. Clasificarea acestor metode se face după modul de încălzire (cu energie electrică, cu flacără oxiacetilenică, cu gaze etc.) sau după modul de răcire (călire obişnuită, în două medii, în trepte, izotermă etc.).

a) - Călirea simplă (obişnuită) (v_1, fig.5.10) este cea mai răspândită metodă de călire. Piesa se încălzeşte la temperatura prescrisă, după care se introduce în mediul de răcire (apă sau ulei), unde rămâne până la răcirea completă. Metoda este simplă şi comodă, dar în acelaşi timp conduce la apariţia unor tensiuni interne mari, motiv pentru care nu este recomandată pieselor cu complexitate mare sau celor cu mai mult de 0,8% C, tensiunile interne favorizând apariţia fisurilor.

b) - Călirea în două medii sau ***întreruptă*** (v_2, fig.5.10) se realizează prin răcirea succesivă, de la temperatura la care a avut loc încălzirea, în două medii de răcire. În primul mediu (apă), răcirea se produce cu o viteză mai mare decât cea

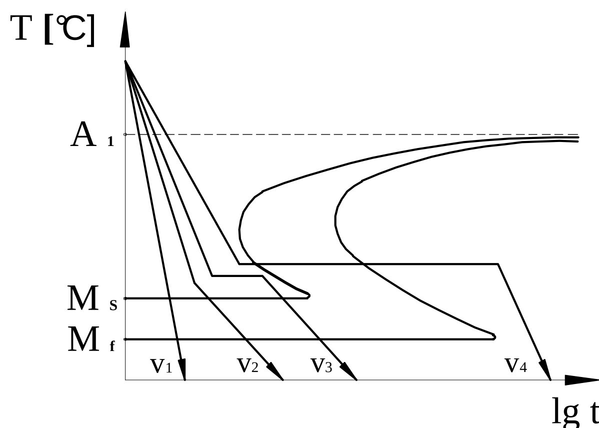


Fig. 5.10. Metode clasice de călire.

critică, iar în al doilea mediu (ulei), cu o viteză mai mică. Dezavantajul metodei constă în dificultatea stabilirii cu precizie a momentului optim de schimbare a mediului. Dacă această schimbare se produce prea repede, în material nu se mai realizează călirea martensitică, iar dacă se produce prea târziu, călirea devine obişnuită. Metoda se recomandă pentru călirea oţelurilor-carbon de scule care sunt foarte sensibile la tensiunile interne

c) - Călirea în trepte (v_3, fig.5.10) constă în răcirea piesei într-un mediu cu o temperatură constantă, puţin superioară punctului M_s (ulei cald, baie de săruri), cu o viteză de răcire superioară celei critice, menţinerea un anumit timp la această temperatură, pentru uniformizarea acesteia în toată masa piesei şi răcirea, în continuare, în alt mediu (de obicei aer), cu o viteză relativ mică, până la temperatura mediului ambiant. Metoda înlătură dezavantajul precedentei şi se recomandă în cazul pieselor mici din oţel-carbon sau oţeluri slab aliate care ar trebui călite în apă, precum şi pentru călirea sculelor aşchietoare din oţel-carbon de scule.

d) - Călirea izotermă (v_4, fig.5.10) este asemănătoare călirii în trepte, cu deosebirea că piesa este menţinută în mediul de răcire până la transformarea completă a austenitei. De obicei, temperatura de descompunere a austenitei se află în intervalul 450÷350 ºC, obţinându-se beinită. Aceasta are o duritate apropiată de a martensitei şi în acelaşi timp prezintă avantajul unor tensiuni interne mult mai mici; ca urmare, se înlătură pericolul apariţiei deformărilor şi crăpăturilor. Un alt avantaj al aplicării călirii izoterme îl constituie posibilitatea determinării precise a rezultatului călirii, pentru fiecare temperatură izotermă în parte, temperatura băii fiind aleasă în funcţie de proprietăţile mecanice necesare ale oţelului respectiv. După călirea izotermă nu se mai aplică revenirea care este obligatorie în cazul celorlalte metode. Prin această metodă se obţin rezultate deosebit de bune la oţelurile aliate. Dezavantajul ei constă în consumul ridicat de energie, pentru încălzirea băii de săruri la temperatura prescrisă.

e) - Călirea la temperaturi joase se aplică oţelurilor cu peste 0,6% C şi înalt aliate care au sfârşitul transformării martensitice M_f sub 0 ºC. Tehnologia călirii la temperaturi joase constă în răcirea materialului până la temperatura mediului ambiant în apă, ulei sau aer şi continuarea răcirii într-un mediu refrigerent gazos sau lichid, la –50…–70 ºC. Schimbarea mediului de răcire trebuie să se facă rapid, pentru a nu se stabiliza austenita. Durata de menţinere la temperaturi joase este de 1÷3 ore, timp în care toată austenita se transformă în martensită. Ca medii

de răcire se folosesc zăpadă carbonică sau aer, oxigen sau azot lichide. Metoda se aplică pieselor care trebuie să prezinte o mare stabilitate structurală şi dimensională în funcţionare (instrumente de măsură şi control, bile şi role de rulmenţi).

f) - Călirea superficială constă în încălzirea rapidă a suprafeţei piesei deasupra punctului critic de transformare, centrul ei rămânând aproape neîncălzit şi răcire cu apă. Ca urmare, în straturile superficiale se obţine martensită, iar miezul piesei îşi păstrează proprietăţile iniţiale, adică duritate mică şi tenacitate foarte bună.

Călirea superficială prezintă următoarele avantaje: consum de energie scăzut; oxidare minimă a suprafeţelor pieselor, datorită vitezei de încălzire foarte mari; posibilităţi de mecanizare şi automatizare şi, ca urmare, productivităţi ridicate. În acelaşi timp, avem şi următoarele dezavantaje: nu se poate aplica pieselor cu pereţi subţiri sau cu forme geometrice complicate; necesită instalaţii destul de costisitoare, deci se justifică numai în producţia de serie mare şi de masă.

Încălzirea stratului superficial se poate realiza cu flacără oxigaz, cu curenţi induşi de înaltă frecvenţă sau prin rezistenţă electrică de contact.

Călirea superficială cu flacără se face prin deplasarea unei flăcări, de obicei oxiacetilenice, de-a lungul piesei ce trebuie călită (sau invers, deplasând piesa în faţa flăcării), până când suprafaţa piesei se încălzeşte (fig.5.11). Atât arzătorul cu flacără oxigaz *1*, cât şi duza cu apă *2* sunt montate în dispozitivul *3* care păstrează o distanţă constantă faţă de piesa *4*. Încălzirea piesei se face pe adâncimea h_1, dar ea se va căli numai pe adâncimea h_2, ceva mai mică. Ca urmare,

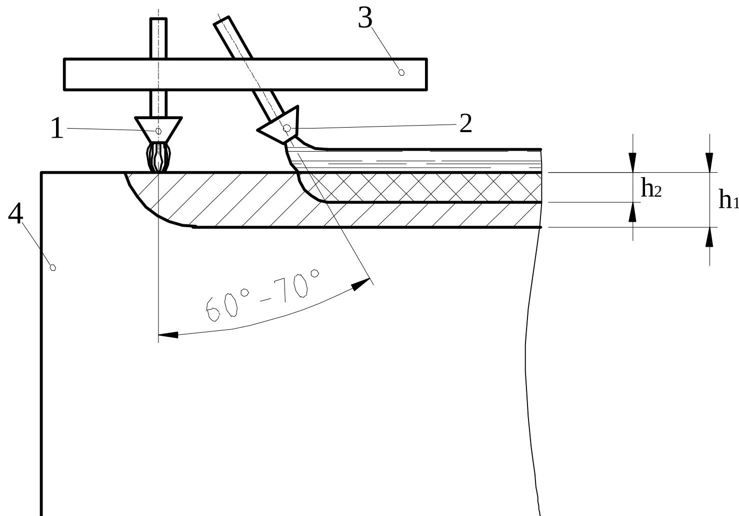


Fig.5.11. Călirea superficială cu flacără.

în stratul superficial vom avea martensită, iar miezul piesei va avea o structură normală, ferito-perlitică, rămânând moale şi tenace. Metoda este simplă şi ieftină, dar prezintă şi dezavantajul că în stratul superficial călit se formează o martensită

grosolană, de calitate mai slabă, datorită supraîncălzirii, iar adâncimea de călire este greu de controlat. Ea se aplică îndeosebi pieselor mari, supuse la solicitări importante (roţi dinţate, arbori, batiuri de maşini-unelte).

Călirea superficială cu încălzire prin inducţie se bazează pe proprietatea curenţilor de înaltă frecvenţă de a circula la suprafaţa conductoarelor electrice pe o adâncime cu atât mai mică cu cât frecvenţa este mai înaltă. Instalaţia de încălzire prin inducţie (fig.5.12.a) se compune dintr-un generator de curenţi de înaltă frecvenţă *G*, o baterie de condensatoare *C*, pentru compensarea reactanţei inductive a circuitului, un transformator coborâtor de tensiune *T* şi un inductor *I* care înconjoară piesa *P*, ce urmează a fi încălzită. În esenţă, sistemul inductor-piesă poate fi asimilat cu un transformator a cărui înfăşurare primară este inductorul, piesa fiind înfăşurarea secundară. Încălzirea straturilor superficiale se realizează

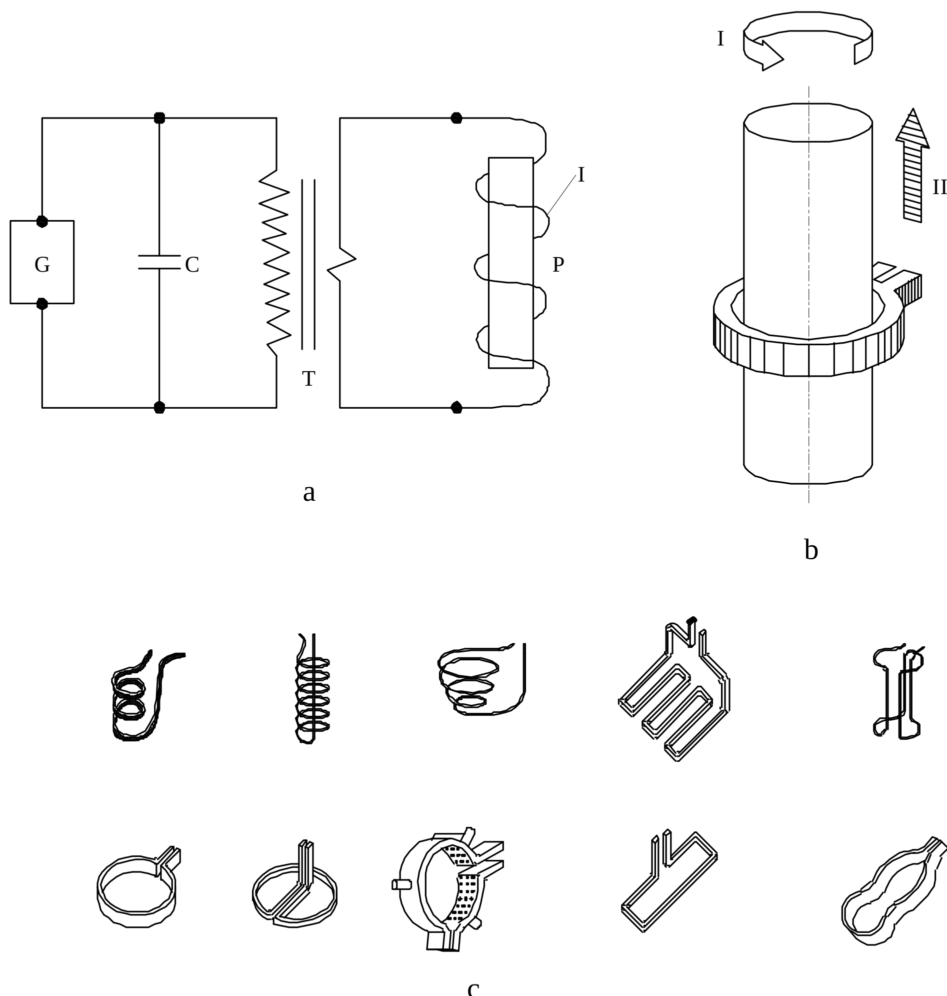


Fig.5.12. Călirea superficială prin inducţie.

datorită efectului pelicular şi energiei electromagnetice care se transformă în căldură prin efect Joule[5]- Lenz[6]. Inductorul *I* are forma piesei *P* şi se construieşte din cupru electrolitic (fig.5.12.b,c). Piesa execută mişcarea principală de rotație *I* şi mişcarea de translație *II* (care poate fi efectuată şi de inductor). Variind frecvența curentului, se poate regla adâncimea stratului încălzit. Răcirea se realizează cu o duză inelară cu orificii de stropire, ce succede la mică distanță inductorul; uneori, inductorul constituie şi răcitorul, apa de răcire fiind trimisă spre piesă prin orificiile practicate pe fața interioară a inductorului.

Metoda se aplică la călirea oțelurilor-carbon cu 0,35÷0,55% C, în cazul pieselor cu secțiune constantă (arbori, cilindri de laminare, roți dințate, ghidajele batiurilor maşinilor-unelte).

Călirea superficială cu încălzire prin rezistență de contact (fig.5.13) constă în încălzirea piesei *1* prin trecerea curentului de la discul rotativ de cupru *2*, la piesă. Pe suprafața de contact disc-piesă apare o densitate mare de curent care va produce încălzirea stratului superficial într-un timp scurt. Piesa este prinsă între

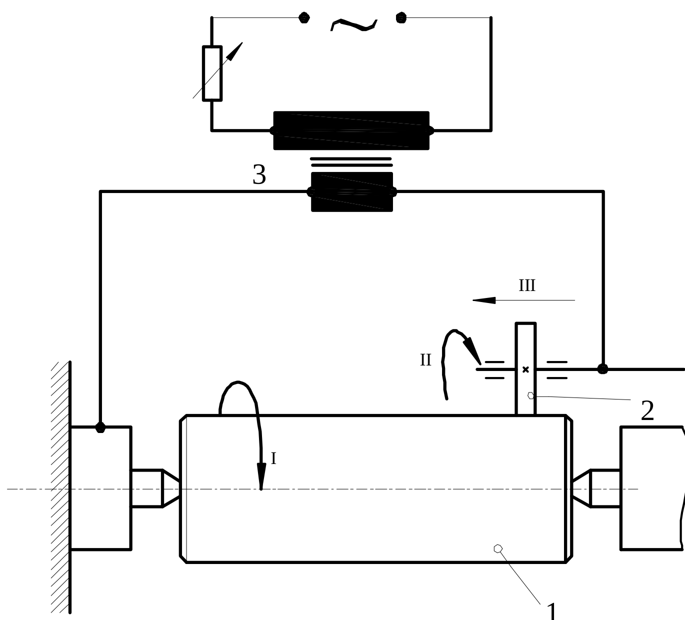


Fig.5.13. Călirea superficială prin rezistență de contact.

---

[5]*James-Prescott JOULE* (1818–1889) – fizician britanic. A verificat principiul transformării şi conservării energiei, a măsurat echivalentul mecanic al caloriei şi a cercetat (1841) efectul caloric al curentului electric (*efectul Joule – Lenz*) şi variația de temperatură produsă de un gaz care străbate un corp poros (1852) (*efectul Joule –Thomson*).

[6]*Heinrich-Friederich-Emil LENZ*, pe numele adevărat *Emil HRISTIANOVICI* (1804–1865) – fizician şi electrotehnician rus de origine germană şi profesor universitar la Sankt-Petersburg. A studiat fenomenul inducției electromagnetice (1833), stabilind sensul curentului indus (*regula lui Lenz*) şi efectul caloric al curentului electric (*efectul Joule – Lenz*).

două vârfuri şi execută mişcarea principală de rotație *I* iar discul, mişcarea secundară de rotație *II,* fiind antrenat de piesă, precum şi avansul longitudinal *III*. Piesa şi discul sunt legate la secundarul transformatorului coborâtor de tensiune *3* (U = 2–4 V, I = 500–15000 A). După încălzire, piesa este stropită cu apă, realizându-se astfel călirea superficială.

Productivitatea mică şi apariția benzilor de duritate diferită precum şi aplicabilitatea limitată numai la piese de tipul arborilor, constituie neajunsuri ale metodei şi, ca atare, răspândirea ei în practică este mică.

5.4. Revenirea

Revenirea este un tratament termic secundar care constă în încălzirea pieselor sub punctul critic de transformare (723 ºC), o menținere suficient de lungă, pentru a avea loc transformări structurale şi o răcire în aer liniştit. În urma călirii, structura oțelului constă din martensită şi austenită reziduală şi se caracterizează prin duritate şi fragilitate mari, astfel că piesele călite nu se pot utiliza ca atare, decât arareori. Prin revenire se restabilesc parțial proprietățile anterioare călirii, îndeosebi tenacitatea, reducându-se şi tensiunile interne.

În funcție de temperatura la care se face şi de scopul urmărit, revenirea poate fi joasă, medie şi înaltă.

a) - Revenirea joasă constă în încălzirea pieselor călite la 150–250 ºC, urmată de o răcire în aer. Ea are ca scop menținerea structurii martensitice şi micşorarea tensiunilor interne produse după călire. Martensita de călire se transformă în martensită de revenire, tot atât de dură, dar mai puțin fragilă.

Revenirea joasă se aplică pieselor călite superficial, sculelor din oțeluri-carbon şi aliate şi instrumentelor de măsură şi control care trebuie să-şi păstreze stabilitatea dimensională.

b) - Revenirea medie se realizează prin încălzirea pieselor la 350–450 ºC şi răcire în aer. Are ca scop eliminarea fragilității structurii cu caracter martensitic şi menținerea unei durități corespunzătoare, prin obținerea trustitei de revenire. Se aplică îndeosebi arcurilor care trebuie să fie dure şi elastice, precum şi sculelor pentru prelucrarea lemnului.

c) - Revenirea înaltă constă în încălzirea pieselor la 450–650 ºC, menținerea timp de câteva ore la această temperatură şi răcire în apă, aer sau cuptor, în funcție de mărimea, complexitatea şi calitatea oțelului din care sunt executate piesele. Duritatea scade mult, dar reziliența atinge valori foarte ridicate, datorită sorbitei de revenire care se obține. Tratamentul se aplică pieselor supuse unor solicitări dinamice puternice: arbori cotiți, fuzete, biele şi scule din oțel.

Tratamentul termic complex, constând dintr-o călire şi o revenire înaltă se numeşte *îmbunătățire* şi este caracteristic oțelurilor cu un conținut de 0,35–0,65%C, numite, de altfel, *oțeluri de îmbunătățire*. Prin îmbunătățire se obține o structură sorbitică omogenă şi dispersă ce asigură rezistență la rupere, plasticitate şi reziliență foarte bune.

5.5. Tratamente termochimice

5.5.1. Generalități

Tratamentele termochimice constau în modificarea compoziției chimice a straturilor superficiale ale pieselor, prin difuziunea unor elemente (C, N, S, Al, Cr, Zn, Si etc.), la temperaturi înalte, pentru obținerea unor proprietăți speciale ale straturilor superficiale, cu menținerea plasticității şi tenacității miezului. Tehnologia unui tratament termochimic presupune trei etape succesive: disocierea, adsorbția şi difuziunea (fig.5.14).

Disocierea (*1*) este fenomenul de descompunere a moleculelor unui mediu gazos în atomi activi:

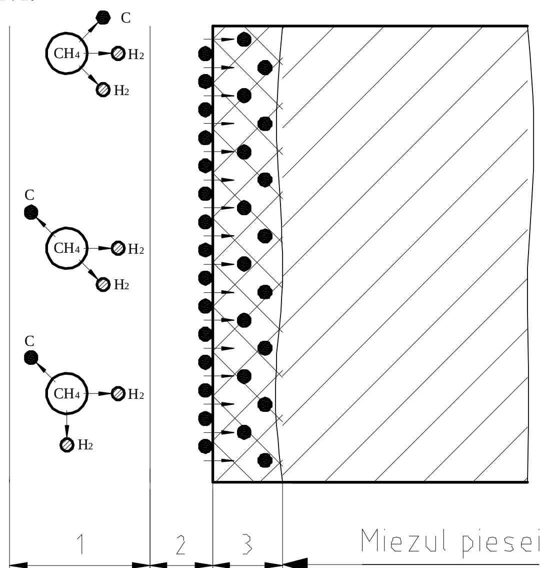


Fig. 5.14. Mecanismul unui tratament termochimic.



$$2CO \rightarrow C + CO_2 \qquad (5.7)$$



$$CH_4 \rightarrow C + 2H_2 \qquad (5.8)$$



$$2NH_3 \rightarrow 2N + 3H_2 \qquad (5.9)$$

În cazul folosirii unor medii solide sau lichide, faza gazoasă este absolut necesară şi apare ca urmare a unor reacții chimice de descompunere sau de alt tip, determinate de componentele mediului şi de temperatura de lucru. În cazul nostru, molecula de CH_4 se va descompune în atomi activi de carbon şi molecule de hidrogen.

Adsorbția (*2*) este fenomenul de acumulare la suprafața piesei a atomilor activi şi de interacțiune cu atomii metalului. Ei pătrund în locurile vacante din

rețeaua metalului de bază, formând soluții solide, iar după atingerea solubilității maxime are loc o restructurare a rețelei şi formarea unor faze noi.

Difuziunea (*3*) este fenomenul de migrare a atomilor adsorbiți, de la suprafața piesei spre interiorul ei. Difuziunea este posibilă în cazul când elementul activ este solubil în metalul de bază şi dacă temperatura de încălzire asigură o energie de activare suficientă.

5.5.2. Tipuri de tratamente termochimice

După natura elementului chimic care se introduce în stratul superficial al metalului de bază şi după scopul urmărit, există mai multe tipuri de tratamente termochimice.

a) - Cementarea (carburarea) constă în încălzirea pieselor din oțeluri cu conținut scăzut de carbon, la temperaturi situate în domeniul austenitic, în intervalul 880–930 ºC, în medii solide, lichide sau gazoase, pentru formarea unor straturi superficiale îmbogățite în carbon, în scopul creşterii durității şi a rezistențelor la uzură şi oboseală. Oțelurile potrivite pentru cementare au conținuturi scăzute de carbon, de 0,1–0,25 %, rareori până la 0,3 %, în cazul oțelurilor aliate. Adâncimea stratului cementat este de 0,5–2 mm; pentru piese mici este de 0,1–0,3 mm, iar pentru piese mari poate depăşi 2 mm. O piesă corect carburată (fig.5.15) trebuie să prezinte în zona superficială o structură perlitică, cu 0,87 % C, corespunzătoare oțelurilor eutectoide, în zona de trecere, o structură perlito–feritică (oțel hipoeutectoid, cu 0,6-0,7%C), iar în zona neafectată de carburare, structura inițială ferito–perlitică (oțel hipoeutectoid, cu 0,25 % C).

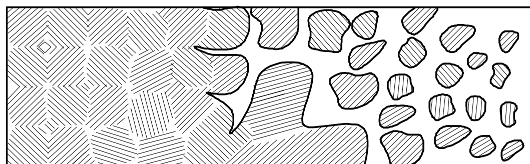


Fig. 5.15. Structura stratului carburat

Cementarea în mediu solid este cel mai vechi procedeu de carburare a oțelului, utilizându-se numai în producția de serie mică şi de unicate, precum şi în atelierele nespecializate. Piesele se împachetează în cutii din oțel inoxidabil, într-un mediu de carburare (mangal, cocs de petrol, cărbune de oase), amestecat cu o substanță activatoare ($BaCO_3$, Na_2CO_3). Amestecul clasic este format din 60% mangal şi 40% $BaCO_3$. Cutiile se etanşează cu un capac metalic, lipit cu argilă şi se încălzesc în cuptor la 910 – 950 ºC, timp de 5 – 14 ore, unde au loc reacțiile:



$$2C + O_2 = 2CO \qquad (5.10)$$



$$2CO \rightarrow CO_2 + C_{activ} \qquad (5.11)$$



$$C_{activ} + Fe_{\gamma} = Fe_{\gamma}C \qquad (5.12)$$

Activatorul contribuie la obținerea carbonului activ :



$$BaCO_3 + C = BaO + 2CO \qquad (5.13)$$



$$2CO \rightarrow CO_2 + C_{activ} \qquad (5.14)$$



$$CO_2 + BaO \rightarrow BaCO_3 \qquad (5.15)$$

Cementarea în mediu solid prezintă avantajele simplității şi unei investiții minime, dar în acelaşi timp şi următoarele dezavantaje: productivitate scăzută; nu asigură reglarea concentrației de carbon în stratul cementat; necesită multe operații pregătitoare.

Cementarea în mediu lichid se aplică pieselor de dimensiuni mici şi are o utilizare restrânsă. Cea mai utilizată baie de carburare constă din 75–85% Na_2CO_3, 10–15% NaCl şi 8–10% SiC. Piesele se încălzesc la 880–900 ºC, timp de 0,5–1h, având loc reacțiile :



$$3Na_2CO_3 + SiC = Na_2SiO_3 + 2Na_2O + 4CO \qquad (5.16)$$



$$2CO \rightarrow CO_2 + C_{activ} \qquad (5.17)$$

Tot ca procedee de cementare în mediu lichid se utilizează cementarea în baie de săruri prin folosirea ultrasunetelor, cementarea prin electroliză, cementarea prin încălzire în electrolit, cementarea prin încălzire cu curenți de înaltă frecvență şi cementarea în fontă topită la 1300 ºC.

Cementarea în mediu gazos este o tehnologie modernă, care tinde să înlocuiască metodele prezentate până acum, pretându-se foarte bine automatizării, producției de serie şi intercalării în fluxul de fabricație a pieselor. Procedeul constă în încălzirea pieselor la 930–950 ºC, timp de 6–12 h, în cuptoare cu acțiune continuă şi 3–10 h, în cuptoare cu acțiune discontinuă, în prezența unor medii gazoase bogate în carbon (CH_4**,** CO). Acestea disociază conform reacțiilor (5.7, 5.8), punând în libertate atomi de carbon activ.

Protejarea contra carburării a suprafețelor ce nu trebuie durificate se realizează prin acoperirea acestora cu argilă, paste protectoare sau prin depunerea galvanică a unui strat subțire de cupru.

Piesele carburate nu pot fi utilizate în această stare, deoarece stratul carburat nu are încă duritatea necesară, iar granulația miezului piesei este grosolană, datorită menținerii îndelungate la temperatura de carburare. Ca urmare, după cementare se aplică obligatoriu o călire şi o revenire joasă. Călirea poate fi

simplă, în cazul pieselor mai puţin importante sau dublă, când se face o călire a miezului, care trebuie să aibă rezilienţă bună şi o călire a stratului superficial, care trebuie să fie dur.

b) - Nitrurarea constă în încălzirea pieselor din oţel la 500–600 ºC, timp de 50–60 h, în medii gazoase sau lichide, pentru formarea unor straturi cu conţinut ridicat de azot, în scopul creşterii durităţii şi a rezistenţelor la uzură, oboseală şi coroziune.

Nitrurarea în mediu gazos se face în cutii sau retorte închise, încălzite la 500–530 ºC, timp de 20–80 h, unde se introduce amoniac, ce disociază conform reacţiei (5.9), punând în libertate atomi de azot activ. Adâncimea stratului nitrurat nu depăşeste 0,5–0,6 mm, dar are o duritate foarte mare. Creşterea temperaturii acceleraeză procesul nitrurării, dar scade duritatea stratului nitrurat.

Nitrurarea în mediu lichid se face prin încălzirea pieselor în băi cu cianuri la 550–580 ºC, în băi de săruri neutre, în care se insuflă amoniac (10–15 min, la 730 ºC) sau în soluţii apoase de amoniac.

Nitrurarea este, de regulă, un tratament termochimic final, deci piesele pot fi prelucrate complet înainte de nitrurare. Aceasta modifică foarte puţin dimensiunile pieselor, calitatea suprafeţelor fiind corespunzătoare. Nitrurarea se aplică arborilor cotiţi, roţilor dinţate, cămăşilor de cilindri, pieselor pentru aparatură termică etc.

c) - Cianizarea este un tratament termochimic prin care se face îmbogăţirea simultană a straturilor superficiale în carbon şi azot, îmbinând efectele şi avantajele cementării cu cele ale nitrurării: duritatea şi rezistenţele la uzură şi coroziune sunt mai mari ca la cementare, dar mai mici ca la nitrurare; temperatura de încălzire este mai scăzută ca la cementare, deci deformaţiile vor fi mai reduse; durata încălzirii este mai scurtă ca la nitrurare; la aceeaşi duritate, stratul cianizat este mai subţire ca cel cementat. Cianizarea se poate face în mediu lichid sau gazos.

Cianizarea în mediu lichid se face prin încălzirea pieselor într-un amestec de cianuri topite (NaCN, KCN) şi săruri neutre (NaCl, Na_2CO_3, $BaCO_3$, $CaCl_2$), la temperaturi joase (520–580 ºC), temperaturi medii (760–860 ºC) sau înalte (900–950 ºC). Durata de menţinere variază între 15 min şi 5 h, iar adâncimea stratului cianizat este de 0,04–0,7 mm. Creuzetele folosite la cianizare se confecţionează din materiale nemetalice sau oţel inoxidabil, placat cu titan. Carbonul si azotul se formează prin oxidarea cianurii în cianat şi descompunerea cianatului conform reacţiilor:



$$2NaCN + O_2 = 2NaCNO \qquad (5.18)$$



$$4NaCNO \rightarrow Na_2CO_3 + 2NaCN + 2N + CO \qquad (5.19)$$



$$2CO \rightarrow CO_2 + C \qquad (5.20)$$

Cianizarea în mediu gazos se face prin încălzirea pieselor într-un amestec de 65–74% CH_4 şi 25–35% NH_3**,** la temperaturi joase (550–580 ºC), medii (700–710 ºC) sau înalte (820–880 ºC). Cianizarea în mediu gazos la temperaturi

joase şi medii se mai numeşte *nitrocarburare*, iar la temperaturi înalte, *carbonitrurare*. Nitrocarburarea se aplică îndeosebi sculelor aşchietoare confecționate din oțel rapid. După acest tratament nu este obligatorie călirea finală, dar o răcire accelerată în ulei sau apă este utilă, permițând menținerea azotului în strat şi împiedicând separarea acestuia sub formă de nitruri fragile. Carbonitrurarea este urmată obligatoriu de o călire simplă în ulei sau o călire în trepte şi o revenire joasă.

Cianizarea în mediu gazos este mult mai avantajoasă şi, ca urmare, mai răspândită decât cianizarea în mediu lichid. Mediile de nitrocarburare şi carbonitrurare permit automatizarea procesului şi sunt mult mai ieftine decât cianurile. Cianurile sunt foarte toxice, în caz de accident, provocând moartea aproape instantanee, prin coagularea sângelui. Ca atare, la cianizarea în mediu lichid se impun măsuri severe de protecția muncii.

d) - Sulfizarea are ca scop îmbogățirea în sulf a straturilor exterioare ale pieselor din oțel sau fontă, care funcționează în condiții de ungere insuficientă, pentru creşterea rezistențelor la uzură şi la gripare. Proprietățile antigripante ale stratului sulfizat se explică prin polarizarea electrostatică a sulfurii de fier din strat, datorită frecării şi absorbției lubrifiantului. În lipsa lubrifiantului, sulfura de fier se descompune şi creează o peliculă lubrifiantă. Sulfizarea este un tratament termic final, aplicându-se după îmbunătățire, cementare sau nitrurare, unor piese ca: scule aşchietoare, segmenți de piston,cămăşi de cilindri, roți dințate, supape, şuruburi conducătoare pentru maşini-unelte etc.

Sulfizarea se poate face prin încălzirea pieselor la temperaturi joase (180–200 ºC), timp de 2-3 h, în băi de sulfocianură de potasiu (KCNS) şi sulfat de sodiu (Na_2SO_3) sau în prezența vaporilor de sulf, la temperaturi medii (450–560 ºC), în atmosfere de hidrogen sulfurat şi amoniac şi la temperaturi înalte (560–1000 ºC), într-un amestec de 1% H_2S şi 99% H_2**,** timp de 40 h. De asemenea, se poate face prin încălzirea pieselor în sulf topit, la 120–140 ºC, timp de 10–15 min; sulfizarea nu se produce în topitura de sulf, ci printr-o recoacere ulterioară de difuziune, la 600 ºC. Indiferent la ce temperatură se realizează sulfizarea, piesele trebuie în prealabil decapate într-o soluție de 2% sodă calcinată.

e) - Sulfocianizarea este tratamentul de îmbogățire simultană a stratului superficial al pieselor din oțel sau fontă, cu carbon, azot şi sulf, pentru creşterea rezistenței la uzură şi a rezistenței la gripare. Se efectuează la temperaturi de 560–580 ºC, timp de 1,5–2 ore, în topituri de săruri ce conțin NaCN, KCN, NaCNS, KCNS. O compoziție de baie foarte activă şi netoxică este formată din 45% K_2CO_3 şi 55% CON_2H_4 (uree tehnică), la care se adaugă, la fiecare 6h, 2% Na_2S. Adâncimea stratului sulfocianizat este de 0,05–0,1 mm.

Sulfocianizarea este, ca şi sulfizarea, un tratament final. Piesele sulfocianizate au şi o rezistență la oboseală ridicată, îmbinând, în general, caracteristicile sulfizării cu cele ale cianizării.

f) – Calorizarea (alitarea) este un tratament termochimic pentru saturarea suprafeței oțelului sau a altor materiale metalice cu aluminiu, pentru creşterea rezistenței la oxidare la temperaturi înalte (până la 1000 ºC) şi a rezistenței la coroziunea atmosferică.

În practică se folosesc diferite metode de calorizare: în pulberi, în băi de aluminiu topit, prin metalizare cu aluminiu, în băi de săruri topite, în gaze. Cea mai răspândită este metoda calorizării în amestecuri de pulberi. Ea constă în încălzirea produselor de oţel sau fontă la 950–1000 °C, timp de 3–10 h, într-un amestec de praf de aluminiu sau de feroaluminiu, clorură de amoniu şi alumină, adâncimea stratului tratat fiind de 0,1–0,5 mm. Calorizarea se mai poate face prin cufundarea pieselor în aluminiu topit, la 700–800 °C, timp de 45–90 min, după care se aplică o recoacere de difuziune, la 900–1100 °C, pentru micşorarea fragilităţii stratului tratat.

Calorizarea se aplică pieselor care trebuie să aibă o refractaritate bună: oale de turnare, grătare, tuburi radiante, teci pentru termorezistenţe, cutii de carburare, obiecte de uz casnic.

g) - Cromizarea constă în saturarea suprafeţei pieselor din oţel cu crom, pentru creşterea rezistenţei la oxidare la temperaturi până la 800 °C, a rezistenţei la coroziunea în medii acide, a rezistenţei la uzură şi a durităţii. Se face în amestecuri de pulberi, în mediu gazos şi uneori în vid.

Cromizarea în amestecuri de pulberi este cea mai utilizată şi constă în înpachetarea pieselor într-un amestec de 50% ferocrom, 48–49% Al_2O_3 şi 1–2% NH_4Cl şi încălzire la 950–1100 °C, timp de 6–12 ore, adâncimea stratului cromizat fiind de 0,05–1,5 mm. Cromizarea în mediu gazos se realizează într-o retortă orizontală încălzită la 950–1050 °C, timp de 5 ore. Într-un capăt al retortei se află piesele care trebuie cromizate, iar în celălalt capăt, granule de crom sau ferocrom, peste care se trece un curent de gaz format din H_2 + HCl sau Cl_2 + HCl. Clorura de crom, care se formează la contactul cromului cu acidul clorhidric, se deplasează în retortă şi spală suprafaţa de cromizat, având loc reacţia :



$$CrCl_2 + H_2 = 2HCl + Cr \qquad (5.21)$$

h) – Silicierea (silicizarea) este îmbogăţirea în siliciu a suprafeţei pieselor confecţionate din oţeluri cu conţinuturi reduse sau medii de carbon, în vederea creşterii rezistenţei la uzură şi a rezistenţei la coroziunea apei marine şi acizilor (HCl, H_2SO_4, HNO_3). Se poate face în amestecuri de pulberi, în medii lichide şi în medii gazoase.

Silicierea în mediu solid se face prin încălzirea pieselor la 1100–1200 °C, timp de 6–12 ore, în amestecuri pulverulente de ferosiliciu şi Al_2O_3, la care se adaugă NH_4Cl. Se aplică numai în producţia de serie mică şi de unicate. Silicierea în mediu lichid se realizează prin încălzirea pieselor la 1000 °C, timp de 2 ore, într-o baie de $BaCl_2$, NaCl şi ferosiliciu. Cel mai frecvent procedeu este silicierea în mediu gazos, care se realizează prin încălzirea pieselor la 1000 °C, timp de 2 ore, în ferosiliciu sau carbură de siliciu, peste care se trece un curent de clor. Piesele se răcesc împreună cu cuptorul, în curent de clor, până la 100–200 °C, pentru împiedicarea oxidării.

i) - Borurarea constă în saturarea suprafeţei pieselor din oţel cu conţinut mediu de carbon, cu bor, pentru creşterea durităţii, a rezistenţelor la uzură abrazivă şi coroziune şi a refractarităţii. Adâncimea stratului borurat nu depăşeşte 0,15 mm, dar duritatea sa ajunge 1400–1550 HV.

Borurarea se realizează la temperaturi de 850–1000 ºC, în medii solide, lichide sau gazoase. Ca medii solide se utilizează pulberi de bor, ferobor şi carbură de bor, iar ca mediu lichid, boraxul ($Na_2B_4O_7$). Cel mai utilizat este mediul gazos, format din triclorură de bor (BCl_3), diboran (B_2H_6) şi hidrogen. În majoritatea cazurilor, oţelul borurat este supus călirii şi revenirii. Borurarea se aplică sculelor pentru deformare plastică la cald, matriţelor, cilindrilor de laminare şi formelor metalice pentru turnare.

j) - Şerardizarea (după numele inventatorului său Sherard[7]) constă în saturarea cu zinc a stratului superficial al pieselor din oţel, pentru creşterea rezistenţei la coroziunea gazelor fierbinţi şi a rezistenţei la oboseală în mediu corosiv. Şerardizarea se face în medii solide, lichide sau gazoase.

Şerardizarea în mediu solid se realizează prin încălzirea pieselor în praf de zinc, la 380 ºC, timp de 1–10 ore, adâncimea stratului tratat fiind de 0,02–0,07 mm. Ca mediu lichid se utilizează zinc topit, la 430–460 ºC, iar ca mediu gazos, vapori de zinc. În ultimul caz, tratamentul are loc în vid (10^{-2} –10^{-3} mmHg), timp de 48 ore, la temperatura de 870 ºC, adâncimea stratului şerardizat fiind de 0,15 mm.

5.6. Tratamente termomecanice

Tratamentul termomecanic este o succesiune de operaţii de deformare plastică, încălzire şi răcire, în intervale diferite de timp, aplicate materialelor metalice în scopul obţinerii unor proprietăţi mecanice şi fizice mai bune. Ţinând seama de temperatura la care se aplică deformarea plastică, tratamentele termomecanice pot fi cu deformarea la cald a austenitei sau cu deformarea la rece a martensitei.

a) - Tratamentul termomecanic cu deformarea la cald a austenitei (fig.5.16) constă dintr-o călire (*1–2–3–4*), urmată de o deformare plastică la cald

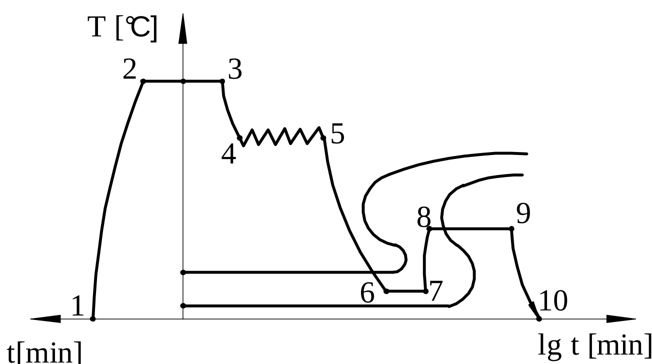


Fig.5.16. Tratament termomecanic cu deformarea la cald a austenitei.

[7]*Cowper-Coles O. SHERARD* (1866 – 1936) – savant englez care a inventat tratamentul termochimic care îi poartă numele (1904).

(*4*–*5*) şi o răcire cu viteză mare (5–6), după care se aplică o revenire joasă (*7*–*8*–*9*–*10*). Aplicarea acestui tratament conduce la creşterea, cu 30–40% a lui σ_r şi σ_c, precum şi a plasticităţii şi a rezilienţei.

b) - Tratamentul termomecanic cu deformarea la rece a martensitei (fig.5.17) constă dintr-o călire (*1*–*2*–*3*–*4*), urmată de o deformare plastică la rece (*4*–*5*) şi o revenire joasă (*5*–*6*–*7*–*8*).

Aplicarea acestui tratament conduce la creşterea proprietăţilor mecanice ale oţelurilor cu 10–20%.

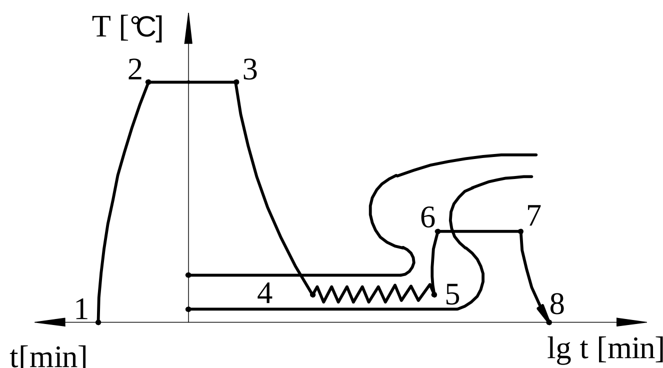


Fig.5.17. Tratament termomecanic cu deformarea la rece a martensitei.

5.7. Utilaje pentru tratamente termice

Diversitatea mare a tehnologiilor de tratament termic presupune o gamă foarte largă de utilaje cum sunt: utilaje de bază, care realizează încălzirea şi răcirea pieselor, utilaje complementare, folosite pentru îndreptarea, curăţarea, acoperirea de protecţie sau spălarea pieselor tratate termic, utilaje auxiliare, care grupează dispozitive, aparate de măsură şi control, generatoare de atmosfere controlate, scule şi dispozitive pentru realizarea operaţiilor de bază. Dintre acestea cele mai importante sunt utilajele de bază, care vor fi tratate în continuare.

5.7.1. Utilaje pentru încălzire

În cazul tratamentelor termice, aceste utilaje realizează două din cele trei operaţii de bază şi anume încălzirea la temperatura prescrisă şi menţinerea la această temperatură. Uneori ele sunt utilizate şi la răcire, atunci când vitezele de răcire sunt foarte mici. Utilajele pentru încălzire se numesc cuptoare şi ele pot fi: cu muflă, electrice şi băi.

a) - Cuptorul cu muflă (fig.5.18) utilizează combustibili lichizi sau gazoşi şi este alcătuit din mufla *1*, confecţionată din material refractar şi căptuşeala *2*, între care se află un spaţiu pentru circulaţia gazelor rezultate prin arderea combustibilului în arzătoarele *3*, montate în pereţii laterali ai cuptorului.

Încărcarea cuptorului cu piese se realizează prin ridicarea uşii *4*, acționarea acesteia făcându-se cu motorul electric *5*. Piesele se încălzesc prin radiația muflei, iar gazele de ardere, care au cedat o parte din căldura lor muflei, sunt evacuate spre coş, prin recuperatorul de căldură *6*. Acesta asigură reintroducerea unei însemnate cantități de căldură în circuitul termic, prin încălzirea aerului necesar arderii combustibilului. Temperatura din spațiul de lucru se măsoară şi se reglează automat cu ajutorul unui termocuplu *7*, legat la un milivoltmetru regulator. Cuptorul se sprijină pe picioarele metalice *8*.

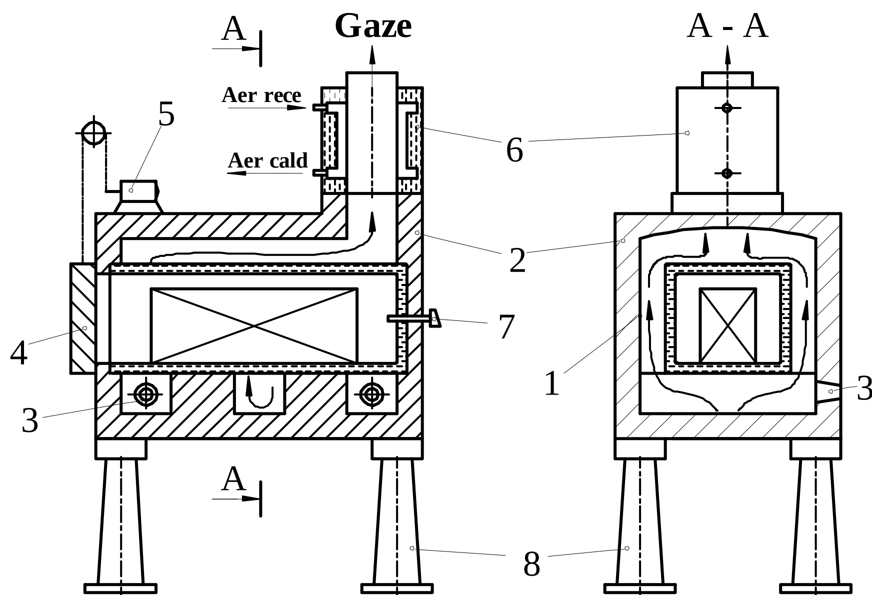


Fig.5.18. Cuptor cu muflă.

b) - Cuptorul electric (fig.5.19) este încălzit cu rezistențe electrice, funcționând la temperaturi cuprinse între 200–1200 ºC. Rezistențele electrice *1* sunt montate pe pereții laterali, cu ajutorul suporților speciali *2* şi în vatră, legăturile făcându-se în exterior, la panoul de borne protejat *3*. Cuptorul este alcătuit din zidăria refractară *4* şi mantaua metalică *5*, sprijinindu-se pe picioarele metalice *6*. Uşa *7* este acționată de cilindrul hidraulic sau pneumatic *8*, deplasându-se pe ghidajele *9*. Temperatura din cuptor se urmăreşte cu termocuplul *10* şi un aparat termoregulator corespunzător, montat într-un panou de comandă, care mai conține aparate de măsură şi control ale parametrilor electrici. Vatra cuptorului este protejată de tabla din oțel inoxidabil şi refractar *11*.

Cuptorul prezentat este de tip cameră cu vatră fixă; în practică se mai utilizează cuptoare electrice verticale, construite în solul atelierelor. Marele avantaj al cuptoarelor electrice constă în posibilitatea reglării temperaturii şi automatizarea funcționării lor. Reglarea temperaturii se face prin cuplarea sau decuplarea rezistențelor, permițând lucrul cu precizii de 5–10 ºC.

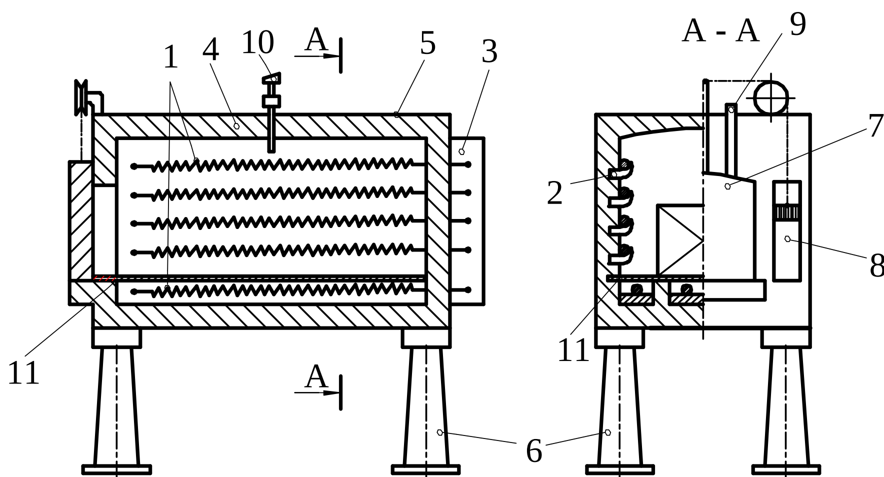


Fig.5.19. Cuptor electric cu rezistență.

c) – Cuptorul-baie (fig.5.20) este un cuptor cu mediul de lucru lichid, alcătuit dintr-o sare sau un amestec de săruri, încălzit la temperatura necesară. Cuptorul este alcătuit din mantaua metalică exterioară *1*, zidăria refractară *2* şi suportul metalic *3*.

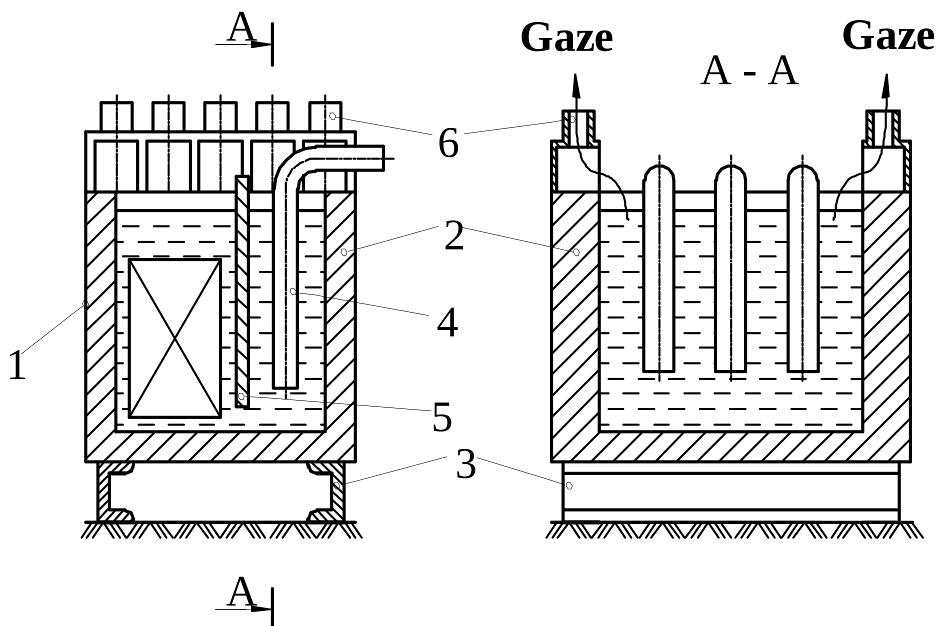


Fig.5.20. Cuptor-baie.

Încălzirea băii se realizează cu electrozii *4*, legați la secundarul unui transformator trifazic coborâtor de tensiune. În condiții de regim, electrozii sunt legați în stea permițând o funcționare economică. Electrozii sunt protejați împotriva lovirii sau scurtcircuitării de către piese, cu o placă de protecție *5* care separă zona de lucru a creuzetului de cea a electrozilor. Emanațiile de gaze, produse prin topirea sărurilor, sunt exhaustate, prin gurile de absorbție *6*. Temperatura băii este de 1300 ºC.

În practică se mai utilizează cuptoare-băi cu gaz metan şi cu rezistențe electrice, care realizează temperaturi de lucru de 650 ºC şi 850 ºC. Cuptoarele-băi se folosesc pentru călirea şi revenirea pieselor din oțel, pentru patentarea sârmelor şi benzilor, pentru tratamente termochimice (cementare, cianizare), precum şi pentru căliri izoterme şi în trepte.

5.7.2. Utilaje pentru răcire

Aceste utilaje sunt foarte diverse, având în vedere, pe de o parte, varietatea mare de tipodimensiuni de piese şi semifabricate tratate termic şi, pe de altă parte, viteza de răcire pe care trebuie să o asigure, potrivit tipului de tratament termic. Clasificarea acestora se face după mai multe criterii, astfel: după viteza de răcire pe care o asigură (utilaje pentru răcire lentă, accelerată şi rapidă), după modul de lucru (nemecanizate, mecanizate), după destinație (de uz general, specializate).

Utilajele pentru răcire lentă sunt cuptoarele, în care s-a făcut şi încălzirea, precum şi gropile de răcire, încălzite sau neîncălzite. Răcirea accelerată se face în aer liber, iar în cazul producției de serie, pe linii tehnologice complexe, în utilaje specializate numite camere de răcire. Acestea constau dintr-un spațiu închis, prin care sunt trecute piesele, cu ajutorul unui transportor. Răcirea se realizează prin convecție forțată, datorită ventilatoarelor montate în boltă şi pe pereții laterali. Lungimea acestor camere este astfel calculată încât la ieşire piesele să aibă temperatura dorită. Răcirea rapidă se realizează în băi cu apă sau ulei, care pot fi mecanizate sau nemecanizate. În băile de răcire nemecanizate, agitarea mediului de răcire se realizează prin sisteme mecanice simple (agitatoare cu elice, pompe de recirculare, conducte perforate prin care se insuflă aer comprimat), la care se adaugă mişcarea pieselor, executată manual sau cu macaraua. În fig.5.21 se prezintă schemele unor băi de răcire nemecanizate (a…f) şi mecanizate (g, h): *a* – bazin de răcire simplu; *b* – agitarea mediului de răcire cu un agitator cu elice; *c* – agitarea mediului de răcire prin barbotare cu aer; *d* – răcirea mediului prin circulația forțată a apei printr-un radiator spiral; *e* – circulația forțată a apei de răcire prin pereții exteriori; *f* – agitarea mediului prin barbotare cu aer şi răcire prin pereții exteriori; *g* – bazin de răcire mecanizat cu un transportor cu plăci; *h* – bazin de răcire mecanizat cu un transportor elicoidal.

În cazul bazinului mecanizat cu un transportor cu plăci (fig.5.21.g), piesele încălzite în cuptorul *1* cad în bazinul *2*, pe transportorul cu plăci *3*, înclinat la ieşirea din bazin la 35–40 º. Plăcile transportorului sunt conduse de ghidajele *4*, pentru schimbarea înclinării, iar transportorul este acționat de mecanismul *5*.

Omogenizarea temperaturii băii se realizează cu agitatorul cu elice *6*. Piesele călite se depozitează în containerul *7*.

O variantă a acestei băi este prezentată în fig.5.21.h, unde transportorul cu plăci este înlocuit cu un transportor elicoidal *3*, înclinat la 35–50 º, în funcţie de înălţimea necesară la evacuare. Pentru realizarea unui contact corespunzător între piese şi mediul de răcire, carcasa transportorului elicoidal este perforată. Acest bazin se foloseşte la răcirea pieselor mici, în producţia de serie mare şi de masă.

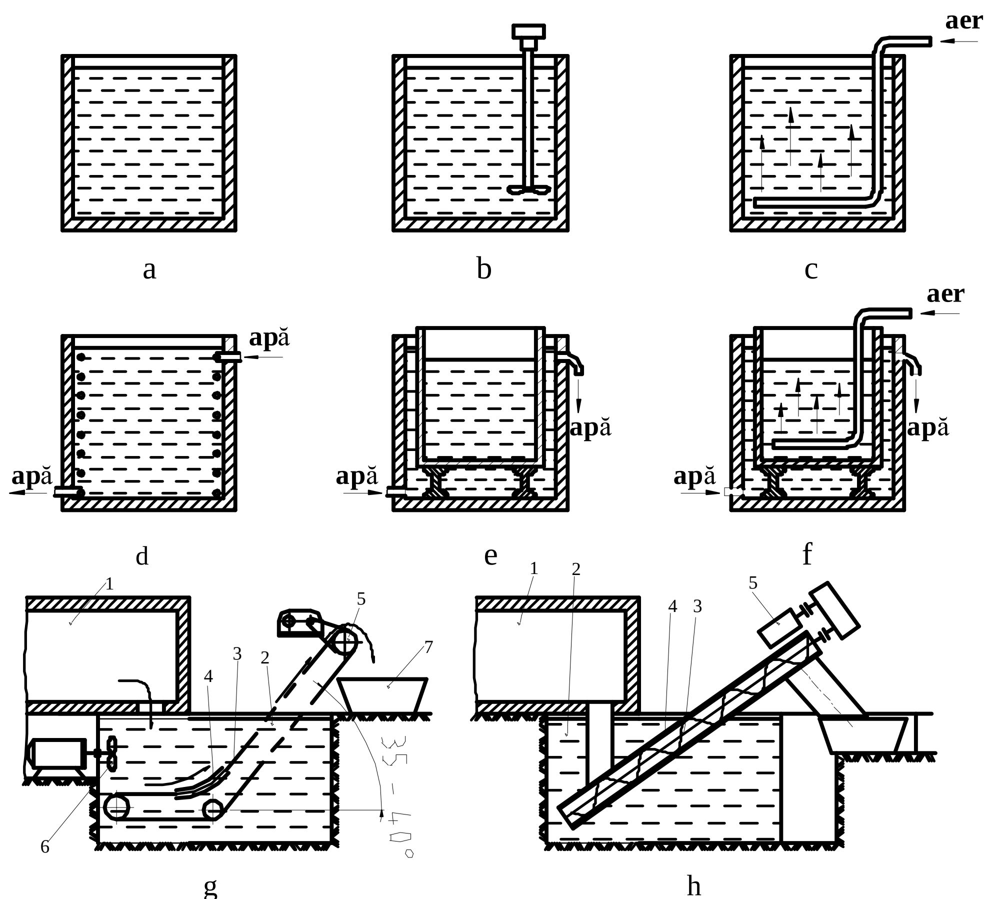


Fig.5.21. Bazine de răcire nemecanizate şi mecanizate.

5.7.3. Agregate pentru tratamente termice

În condiţiile unei producţii moderne, tratamentele termice se efectuează în agregate sau linii complexe, constituite din utilajele şi instalaţiile descrise anterior, ale căror caracteristici constructive şi amplasare depind de forma şi dimensiunile produselor şi de tipul şi parametrii tehnologici ai tratamentelor termice. Aceste agregate asigură productivitate ridicată, control riguros al tuturor parametrilor ope-

rațiilor de tratament, calitate superioară a produselor tratate, precum şi mecanizarea şi automatizarea operațiilor şi condiții superioare de muncă şi securitate.

În fig.5.22 este prezentat un agregat, care poate realiza recoaceri de normalizare şi căliri, austenitizarea făcându-se în atmosferă controlată. Agregatul se compune din cuptorul pentru încălzit *1*, cu rezistențe electrice sau tuburi radiante, etanşat pentru a permite funcționarea cu atmosfere controlate, antecamera *2*, bazinul de răcire *3*, prevăzut cu platformă de imersie şi calea cu role *4*. Fluxul tehnologic al tratamentului termic este: *A* – şarja este introdusă în antecameră (ecluză) şi după închiderea ecluzei, eliminarea aerului şi deschiderea uşii cuptorului este introdusă în spațiul de lucru al cuptorului; *B* – după austenitizare, uşa cuptorului este deschisă, iar piesele sunt preluate de platforma submersibilă a bazinului de călire; *C* – imersarea pieselor în bazin şi răcirea lor; *D* – ridicarea platformei la nivelul vetrei şi o scurtă menținere pentru scurgerea mediului de răcire; *E* – după deschiderea uşii ecluzei, piesele sunt preluate de calea cu role.

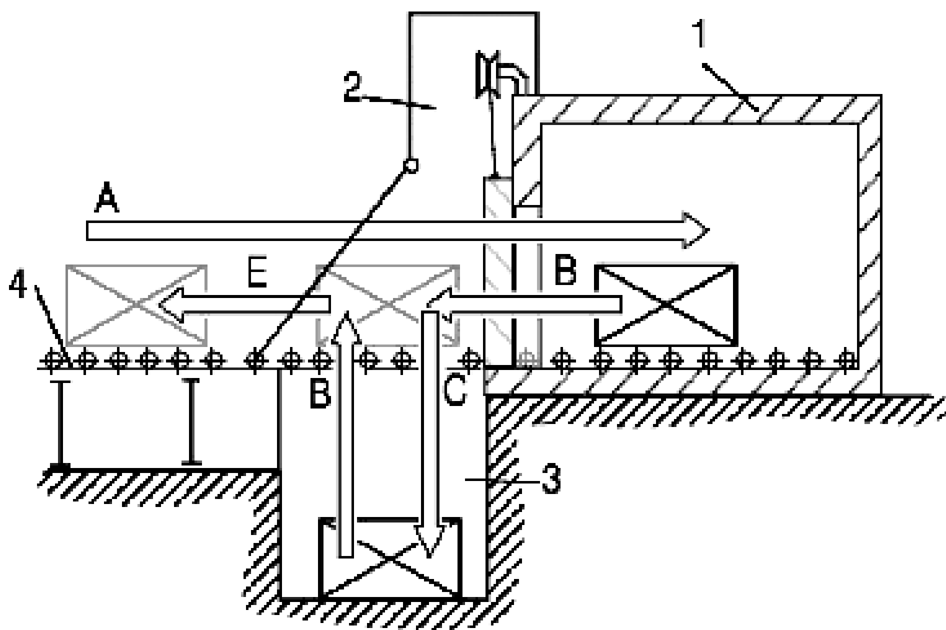


Fig.5.22. Agregat de călire cu bazin integrat.

5.8. Dicționar român-englez-francez de cuvinte-cheie

tratament termic	heat treatment	traitement (*m*) thermique
recoacere	annealing	recuit (*m*)
călire	hardening	trempe (*f*)
sorbită	sorbite	sorbite (*f*)
trustită	troostite	troostite (*f*)

beinită	bainite	bainite (*f*)
martensită	martensite	martensite (*f*)
călire în aer	air hardening	trempe (*f*) à l´air
călire în apă	water hardening	trempe (*f*) à l´eau
călire în ulei	oil hardening	trempe (*f*) à l´huile
călire întreruptă	interrupted hardening	trempe (*f*) interrompue
călire în trepte	graded hardening	trempe (*f*) à gradins
călire izotermă	isothermal hardening	trempe (*f*) isotherme
călire superficială	superficial hardening	trempe (*f*) superficielle
revenire	tempering	revenu (*m*)
tratament termochimic	thermochemical treatment	traitement (*m*) thermochimique
disociere	dissociation	dissociation (*f*)
adsorbţie	adsorption	adsorption (*f*)
difuziune	diffusion	diffusion (*f*)
cementare; carburare	cementation; carburizing; case-hardening	cémentation (*f*)
nitrurare	nitriding; nitrogen-hardening	nitruration (*f*)
cianizare	cyaniding	cyanisation (*f*)
calorizare	calorising	calorisation (*f*)
cromizare	chromising	chromisation (*f*)
siliciere; silicizare	siliconizing	siliconizing (*m*)
borurare	boration	boruration (*f*)
şerardizare	sherardizing	shérardisation (*f*)
tratament termomecanic	thermomechanical treatment	traitement (*m*) thermomécanique
cuptor cu muflă	muffle furnace	four (*m*) à moufle
cuptor cu rezistenţă	resistance furnace	four (*m*) à résistance

PARTEA A DOUA

MATERIALE PLASTICE

6

PROPRIETĂȚILE MATERIALELOR PLASTICE

6.1. Generalități

Materialele plastice sunt produse sintetice macromoleculare, utilizate în industrie datorită plasticității ridicate şi proprietăților favorabile pe care le au piesele prelucrate. Apărute în perioada 1920 – 1950, astăzi depăşesc consumul de metale datorită următoarelor avantaje: masă volumică redusă; sunt bune izolatoare electrice şi termice; sunt rezistente la acțiunea agenților chimici; se prelucrează uşor prin multiple procedee tehnologice; au un preț scăzut.

În acelaşi timp, utilizarea lor este limitată de următoarele dezavantaje: proprietățile mecanice sunt relativ reduse; nu sunt degradabile, ceea ce creează serioase probleme de poluare; nu îşi păstrează proprietățile la temperaturi înalte; au coeficienți de dilatare relativ mari; prin ardere degajă produse toxice.

Asemenea metalelor, materialele plastice au proprietăți fizice, chimice, mecanice şi tehnologice.

6.2. Proprietăți fizice

a) – Masa volumică (***densitatea***) este redusă, oscilând în jur de 1g/cm^3, ceea ce permite utilizarea materialelor plastice la realizarea unor piese şi subansambluri uşoare, în condiții de solicitare mecanică medie. Masa volumică redusă se datorează maselor atomice mici ale principalilor atomi ai catenelor (în principal, hidrogenul şi carbonul).

Determinarea densității se poate face prin mai multe metode, cea mai cunoscută fiind cu ajutorul *picnometrului*. Acesta este un recipient din sticlă, cu volum cunoscut, care se cântăreşte cu o balanță analitică, înainte şi după umplerea cu material.

b) – Temperatura de topire este scăzută, fiind în general cuprinsă între 100 şi 200 ^{0}C, rareori ajungând la 300 ^{0}C.

c) – Capacitatea termică masică (***căldura specifică***) este mult mai mică decât în cazul metalelor, având valori în jur de 1kJ/kg · ^{0}C.

d) – Conductibilitatea termică este relativ mică şi, ca urmare, materialele plastice sunt bune izolatoare termice, în principal sub formă de spumă (polistiren, poliuretan, policlorură de vinil).

e) – Coeficientul de dilatare liniară este mult mai mare decât în cazul ma-

terialelor metalice, datorită legăturilor interatomice slabe (în special celor de tip Van der Waals[1]). Diferenţa mare dintre coeficienţii de dilatare liniară ai materialelor plastice şi cei ai materialelor metalice constituie un parametru critic care trebuie luat în considerare când se doreşte determinarea toleranţelor şi jocul în îmbinările mecanice care utilizează aceste două tipuri de materiale (angrenajele din material plastic montate pe axe metalice).

f) – Conductibilitatea electrică a materialelor plastice este foarte scăzută, ele fiind excelente izolatoare electrice pentru cabluri subterane sau submarine. Se mai utilizează la fabricarea condensatoarelor electrice, sub formă de folii cu grosimi de câţiva microni.

În afară de proprietăţile fizice menţionate, aferente şi materialelor metalice, materialele plastice mai au următoarele caracteristici fizice:

g) – Porozitatea (***P***) este raportul dintre volumul porilor V_p şi volumul total V_t al corpului:

$$P = \frac{V_p}{V_t} \ [\%] \tag{6.1}$$

Porii pot fi deschişi (fig.6.1.a), semiînchişi (fig.6.1.b) sau închişi (fig.6.1. c). Porozitatea este favorabilă în cazul materialelor termoizolante şi nefavorabilă în cazul celor electroizolante, ultimele trebuind impregnate. Ea poate ajunge până la 50%.

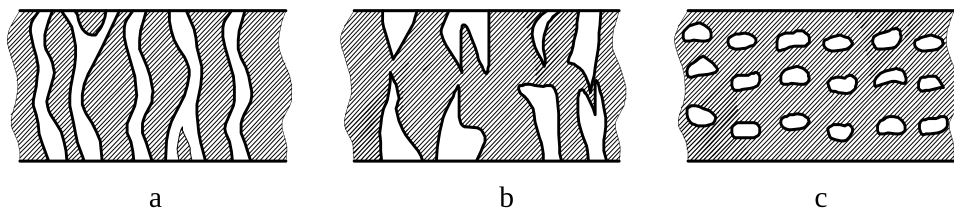


Fig.6.1. Tipuri de pori.

h) – Permeabilitatea faţă de aer (***P_a***) este volumul de aer V_a care străbate, în timpul t, o suprafaţă de material S cu grosimea h, datorită diferenţei dintre presiunile p_1 şi p_2 ale aerului pe cele două feţe ale materialului:

$$P_a = \frac{V_a \cdot h}{S \cdot (p_1 - p_2) \cdot t} \ [\text{m}^4/\text{N}\cdot\text{s}] \tag{6.2}$$

[1] *Johannes-Diderik VAN DER WAALS* (1837-1923) – fizician olandez care a studiat schimbarea de stare a corpurilor, explicând fenomenul de trecere reciprocă din starea lichidă în cea gazoasă şi invers. A propus ecuaţia de stare pentru gazele reale, care îi poartă numele, şi a explicat coeziunea moleculelor prin forţe de interacţiune de un tip special (*forţe Van der Waals*). A studiat disociaţia electrolitică şi a elaborat o teorie termodinamică a capilarităţii. A luat Premiul Nobel pentru fizică, în 1910 (*Cercetări asupra ecuaţiei de stare a fluidelor*).

i) – Permeabilitatea la umiditate (***P_u***) este proprietatea unui material de a se opune trecerii vaporilor de apă prin el şi se determină cu relația:

$$P_u = \frac{m \cdot h}{S \cdot (p_1 - p_2) \cdot t} \text{ [kg·m/N·s]} \tag{6.3}$$

unde: *m* – masa vaporilor de apă, kg; *h* – grosimea materialului, m; *S* – suprafața materialului, m^2; p_1, p_2 - presiunile pe cele două fețe ale materialului, N/m^2; *t* – timpul străbaterii materialului, s.

6.3. Proprietăți chimice

a) – Rezistența la coroziune este mult mai bună decât în cazul materialelor metalice. Determinarea rezistenței la acțiunea agenților chimici se face prin imersarea completă în agentul chimic lichid sau în soluția acestuia, la o temperatură şi pe o durată de timp stabilite şi se verifică aspectul, precum şi unele caracteristici ale materialului plastic (masă, dimensiuni, proprietăți fizice), înainte şi după imersiune.

b) – Rezistența la solvenți este capacitatea unui material plastic de a-şi păstra proprietățile atunci când vine în contact cu un solvent lichid sau cu vaporii săi. O substanță se dizolvă mai uşor într-un solvent de aceeaşi natură chimică (parafină în benzen), iar solubilitatea scade odată cu temperatura şi cu creşterea gradului de polimerizare a substanței de dizolvat.

c) – Rezistența la mucegaiuri depinde de conținutul de carbon al materialului plastic, carbonul constituind sursa nutritivă necesară creşterii şi dezvoltării mucegaiului. De asemenea, o influență nefastă o au şi produsele de metabolism ale mucegaiurilor.

6.4. Proprietăți mecanice

a) – Rezistența de rupere la tracțiune este mult mai mică decât la metale. Ea se determină experimental, pe epruvete standardizate, rezultând curbe efort-deformație de diferite forme (fig.6.2). Punctele de inflexiune *C* (fig.6.2.a,b) reprezintă limita de curgere a materialului. Dacă pe diagramă nu apare un punct de inflexiune (fig.6.2.c), este necesar să se determine limita de curgere convențională, definită ca intersecția R_1 a curbei de tracțiune cu paralela *MN* dusă la tangenta *OA*, corespunzătoare cu decalajul *OM* stabilit convențional.

Rezistența de rupere la tracțiune se calculează cu relația (1.4), iar alungirea la rupere, cu relația (1.6). De asemenea, se poate calcula modulul de elasticitate *E* ca raportul dintre rezistența la tracțiune σ şi alungirea relativă ε, în limita unei solicitări maxime pe care o suportă materialul, fără să se abată de la proporționalitatea efort-deformație:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ [daN/cm}^2\text{]} \tag{6.4}$$

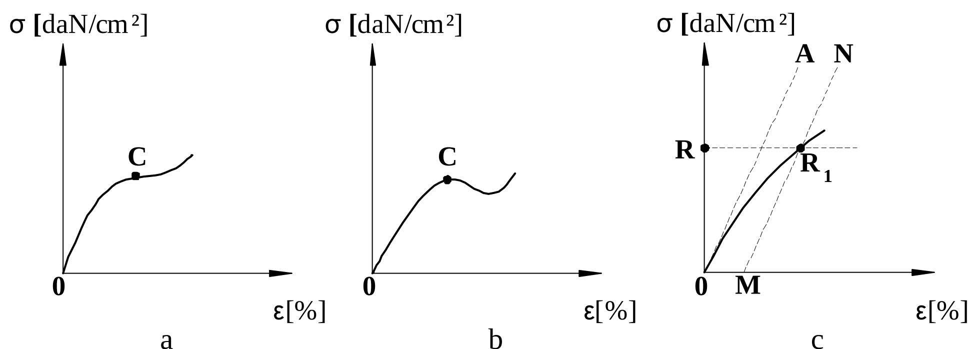


Fig. 6.2. Curbe caracteristice la tracţiune.

b) – Rezistenţa la compresiune (σ_c) este raportul dintre forţa F care produce strivirea epruvetei şi aria secţiunii drepte minime iniţiale a epruvetei S_0 (fig.6.3):

$$\sigma_c = \frac{F}{S_0} \text{ [daN/cm}^2\text{]} \tag{6.5}$$

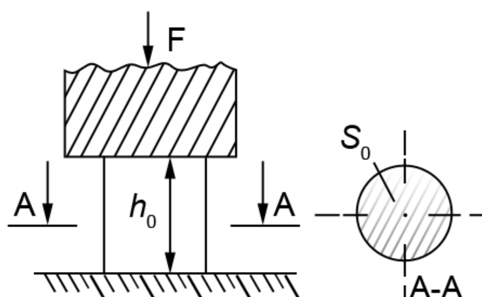


Fig.6.3. Determinarea rezistenţei la compresiune.

Şi în acest caz avem o limită convenţională de curgere $\left(\sigma_c^{'}\right)$ care este tensiunea nominală de compresiune la care curba efort-deformaţie se abate de la liniaritate cu un anumit procent de deformare. De asemenea, se poate calcula deformarea relativă la limita de curgere (ε_c) şi deformarea relativă de rupere la compresiune (ε_r), cu relaţiile:

$$\varepsilon_c = \frac{h_0 - h_c}{h_0} \cdot 100 \text{ [\%]} \tag{6.6}$$

$$\varepsilon_r = \frac{h_0 - h_r}{h_0} \cdot 100 \text{ [\%]} \tag{6.7}$$

unde: h_0 – înălţimea iniţială a epruvetei, mm; h_c – înălţimea epruvetei la limita de curgere, mm; h_r – înălţimea epruvetei în momentul ruperii, mm.

c) – Rezistenţa la încovoiere (σ_i) este valoarea convenţională a tensiunii normale la care se produce ruperea epruvetei solicitate la încovoiere (fig.6.4). Tensiunea de încovoiere se calculează cu relaţia:

$$\sigma_i = \frac{3FL}{2bh^2} \text{ [daN/cm}^2\text{]} \quad (6.8)$$

unde: *F* – sarcina aplicată, N; *L* – distanța dintre reazeme, mm; *b* – lățimea epruvetei, mm; *h* – grosimea epruvetei, mm.

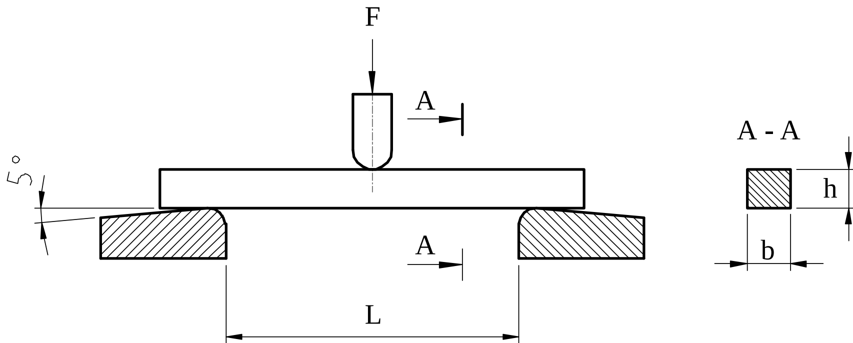


Fig.6.4. Determinarea rezistenței la încovoiere.

d) – Rezistența la forfecare (σ_f) este raportul dintre forța necesară forfecării şi aria secțiunii epruvetei solicitate în timpul încercării. Determinarea rezistenței la forfecare se face cu un dispozitiv (fig. 6.4) alcătuit din blocul fix *1* şi blocul mobil *2* între care se prinde materialul de încercat *3*. Prin apăsarea poansonului *4* cu forța *F*, se realizează forfecarea.

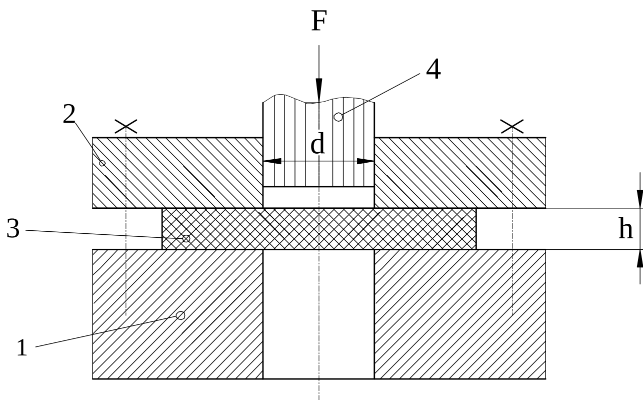


Fig.6.4. Determinarea rezistenței la forfecare.

Rezistența la forfecare se calculează cu formula:

$$\sigma_f = \frac{F}{S} \text{ [daN/cm}^2\text{]} \quad (6.9)$$

în care: *F* – forța de forfecare, N; *S* – aria secțiunii supuse forfecării, cm^2 [rezultată din circumferința poansonului ($\pi \cdot d$) înmulțită cu grosimea epruvetei (h)].

e) – Rezistenţa la şoc (***R***$_s$) este raportul dintre energia consumată pentru ruperea prin şoc a unei epruvete cu crestătură şi aria secţiunii acesteia în zona de rupere. Există mai multe metode pentru determinarea rezistenţei la şoc, cea mai cunoscută fiind metoda cu ciocan-pendul Charpy (fig.6.5). Epruveta se sprijină pe două reazeme şi este lovită în partea opusă crestăturii, astfel încât să se rupă dintr-o singură lovitură.

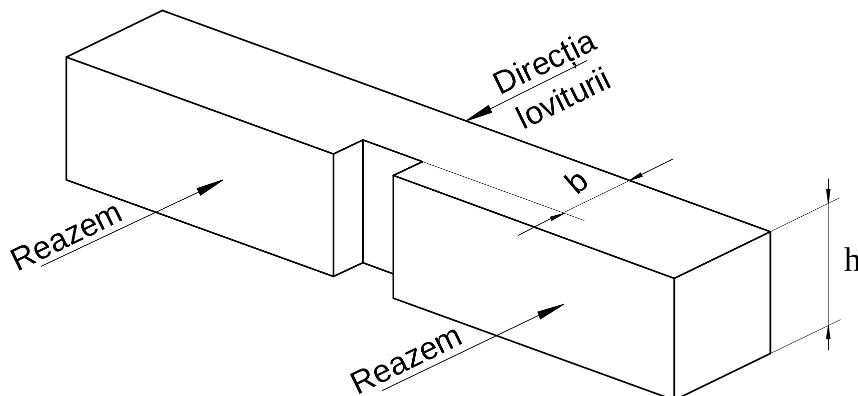


Fig.6.5. Determinarea rezistenţei la şoc.

Rezistenţa la şoc se calculează cu relaţia:

$$R_s = \frac{A}{b \cdot h} \ [\text{kJ/cm}^2] \qquad (6.10)$$

în care: *A* – lucrul mecanic al loviturii, kJ; *b* – lăţimea epruvetei, mm; *h* – grosimea epruvetei, mm.

f) – Duritatea (***H***) este mult mai mică decât în cazul metalelor şi se determină cu ajutorul durometrului Shore (inventat de americanul Albert-Fitch Shore în anul 1920) care constă dintr-o placă fixă *1* (fig.6.6), o placă de presare *2* şi un pe-

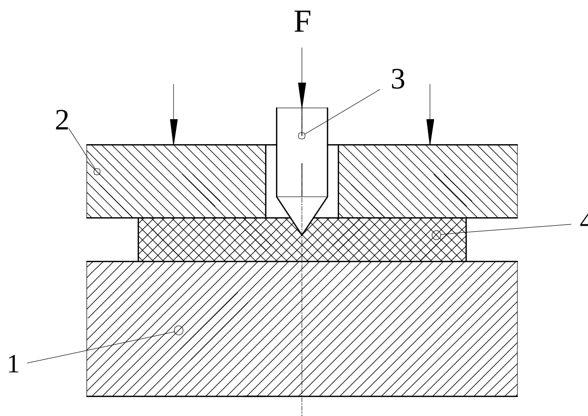


Fig.6.6. Determinarea durităţii Shore.

netrator *3* din oțel călit. Penetratorul are un-ghiul $\alpha = 35^o$, pentru duro-metrul de tip *A* (F=1 daN) şi $\alpha = 30^o$, pentru durometrul de tip *D* (F=5 daN).

Epruveta de încercat se prinde între cele două plăci, iar valoarea durității se citeşte pe un aparat indicator.

Duritatea materialelor plastice se mai poate determina prin penetrări cu bilă (metodele Brinell sau Rockwell), când duritatea lor este mai mare.

g) – Plasticitatea este excepțională (de unde şi denumirea de *materiale plastice*), permițând obținerea unor piese sau semifabricate de diferite forme, prin diverse procedee de prelucrare.

6.5. Proprietăți tehnologice

a) – Turnabilitatea este acceptabilă, folosindu-se îndeosebi turnarea prin presiune (injectarea).

b) – Deformabilitatea este foarte bună şi stă la baza a numeroase procedee de prelucrare: presare la cald sau la rece, extrudare, filare etc.

c) – Sudabilitatea este bună, îmbinarea făcându-se cu sau fără material de adaos, prin procedee clasice sau neconvenționale.

d) – Aşchiabilitatea este mai slabă decât la metale, dar se pot aplica toate procedeele de aşchiere. Pentru evitarea creşterii temperaturii, sunt necesare lichide active de ungere şi răcire.

6.6. Dicționar român–englez–francez de cuvinte–cheie

material plastic	plastic	matière (*f*) plastique
rezistență la compresiune	compression strength	résistance (*f*) à la compression
rezistență la încovoiere	bending strength	résistance (*f*) à la flexion
rezistență la forfecare	shear strength	résistance (*f*) au cisaillement
rezistență la şoc	impact strength	résistance (*f*) au choc

7

TIPURI DE MATERIALE PLASTICE

7.1. Istoricul apariției materialelor plastice

Istoria materialelor plastice începe în 1869, în SUA, când frații Hyatt au inventat celuloidul, un produs de origine vegetală, pentru a înlocui fildeşul natural, utilizat până atunci la fabricarea bilelor de biliard. Astfel, timp de 40 de ani, celuloidul a fost singurul material plastic cunoscut, până în 1909, când chimistul belgian Baekeland[1] a inventat, tot în SUA, bachelita. Era materialelor plastice începe, practic, odată cu secolul XX, luând un deosebit avânt în perioada 1920–1940.

În 1937, în America apare prima poliamidă – nailonul – care a înlocuit fibrele textile naturale şi, în particular, mătasea. După război, policlorura de vinil dură, rezistentă la acțiunea chimică a acizilor şi bazelor, a contribuit la renaşterea industriei chimice, concurând cu succes oțelul inoxidabil în construcția rezervoarelor pentru industria chimică sau a conductelor pentru transportul produselor corosive.

Începând cu 1950 asistăm la dezvoltarea în ritm alert a petrochimiei, ca urmare a creşterii cererii de combustibili în transporturile rutiere. Petrochimia asigură apariția unor noi materiale plastice ca urmare a cracării petrolului brut. Circa 10% din țiței este utilizat în rafinării pentru obținerea materialelor plastice.

Astăzi, consumul mondial de materiale plastice a ajuns să-l egaleze pe cel de oțel, în greutate, şi tinde să-l depăşească. Având în vedere că peste 90% din producția de materiale plastice provine din petrol şi gaze naturale, o problemă de maximă importanță o constituie reciclarea acestora, pentru limitarea consumului de materii prime valoroase şi din ce în ce mai deficitare. Prin reciclare nu se urmăreşte doar prelucrarea deşeurilor în vederea refolosirii lor, ci şi transformarea lor, prin procedee speciale, în produsele petroliere de origine. Aceste tehnologii se bazează pe utilizarea microundelor de frecvențe diferite, realizându-se în final o spargere a lungilor catene de hidrocarburi ce alcătuiesc materialele plastice şi cauciucul industrial şi obținându-se gaz metan şi țiței brut.

Materialele plastice se pot obține din produse animale, vegetale sau naturale, conform schemei din fig.7.1.

---

[1]*Leo-Hendrik BAEKELAND* (1863-1944) – chimist belgian care a făcut studii la Universitatea din Gand, iar în 1889 s-a stabilit în SUA, pentru a lucra la o societate de materiale fotografice. A inventat hârtia fotografică *Velox* (1893) pe care a comercializat-o prin propria sa firmă până în 1899, când şi-a vândut brevetul şi societatea lui George Eastman. În 1905 a început cercetările care l-au condus la inventarea bachelitei.

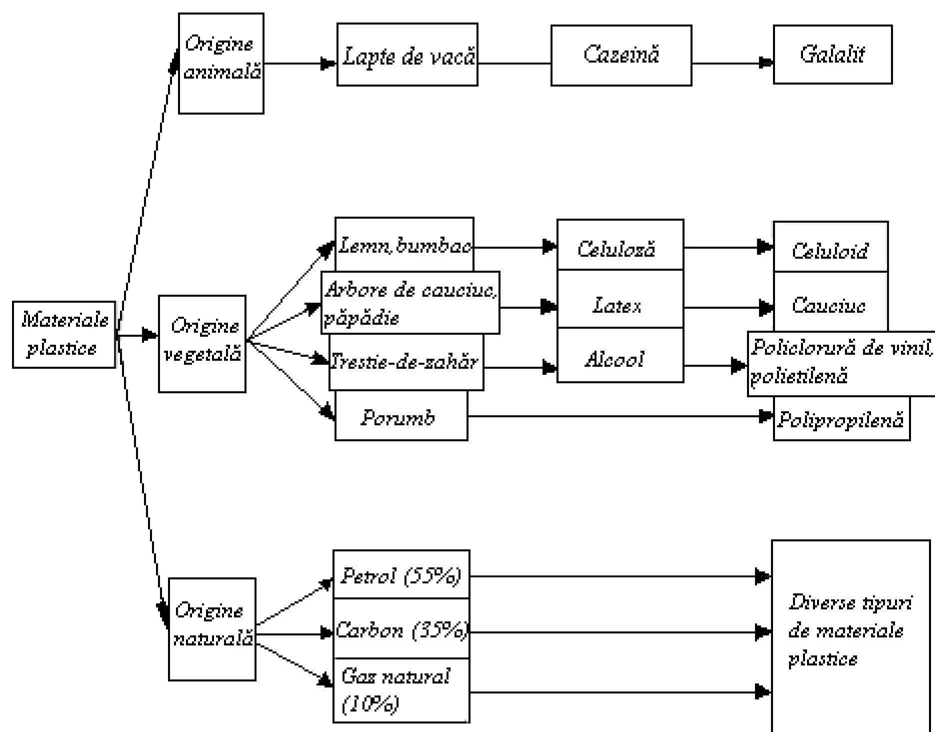


Fig.7.1. Clasificarea materialelor plastice după natura lor.

Un scurt istoric al apariției materialelor plastice este prezentat în tabelul 7.1.

Tabelul 7.1. **Istoricul apariției materialelor plastice**

Materialul plastic	**Anul**	**Scurt istoric**
0	1	2
Cauciucul	1736	Naturalistul francez Charles-Marie de la Condamine, care participă la o expediție științifică în Peru pentru măsurarea meridianelor terestre, a descoperit arborele de cauciuc în inima pădurii tropicale, notând remarcabilele calități ale sucului care se scurgea din acesta.
Nitroceluloza	1833	A fost obținută de francezii T.J. Pelouze şi H. Braconnot. Prima aplicație industrială (bumbacul-pudră) îi aparține germanului C.F. Schoenbein (1847).
Vulcanizarea	1839	Americanul Charles Goodyear (1800-1860) lucra la un procedeu de tratare a gumei indiene şi, din neatenție, a scăpat câteva picături de amestec din cauciuc şi sulf pe un disc încălzit, constatând că proprietățile cauciucului se îmbunătățesc simțitor, făcându-l utilizabil.
Cauciucul sintetic	1860	A fost obținut prin polimerizarea unei hidrocarburi nesaturate numite *izopren*, de către englezul Charles G. Williams (1860). Primele succese industriale le-au realizat francezul G. Bouchard

Tabelul 7.1. (continuare)

0	1	2
		(1880) şi englezul Tilden (1884). Producţia de cauciuc sintetic a început cu adevărat în timpul celui de-al doilea război mondial, pentru înlocuirea cauciucului natural.
Celuloidul	1869	A fost inventat în America de fraţii Hyatt pentru a înlocui fildeşul la fabricarea bilelor de biliard, prin amestecarea la cald a nitrocelulozei cu camfor (substanţă incoloră, volatilă, cu miros caracteristic şi cu gust amar,extrasă din lemnul unui arbore exotic).
Mătasea artificială	1891	În 1891, C. Cross obţine brevetul de fabricare a xantatului de celuloză, materia de bază din care se obţine mătasea artificială, iar în 1921, cercetătorul Bevan patentează fabricarea acesteia.
Celofanul	1908	În 1908, J.E.Branderbergen regenerând celuloza pentru obţinerea fibrelor a descoperit o folie transparentă pe care a numit-o *celofan*. Patentul pentru această denumire a fost obţinut în 1912.
Bachelita	1909	Primul material plastic sintetic, brevetat de chimistul belgian stabilit în SUA, Baekeland. Această fenoplastă se foloseşte şi astăzi cu succes, datorită rezistenţei ridicate la căldură şi la foc.
Policlorura de vinil	1913	În 1913, profesorul german Klatte brevetează polimerizarea unui gaz - clorura de vinil. Fabricarea industrială demarează în 1931 în cadrul concernului IG Farben. Policlorura de vinil are astăzi multiple utilizări, făcând parte din viaţa noastră.
Polimerii	1922	Structura particulară a polimerilor, constituită din lanţuri foarte lungi de sute de mii de atomi, a fost pusă în evidenţă de chimistul german Hermann Staudinger (1881-1965), pentru care a fost distins cu Premiul Nobel, în 1953. În 1980, norvegianul John Ugelstad (1921-1997) de la Universitatea din Trondheim, a inventat un procedeu de fabricare a polimerilor de dimensiune constantă, de un mare interes ştiinţific, mai ales în medicină.
Plexiglasul	1924	În 1924, Barker şi Skinner obţin o sticlă organică – polimetacrilatul de metil – comercializată în 1934 de firma Rohm sub denumirea de *plexiglas*. Lentilele ochelarilor sunt confecţionate din plexiglas.
Polistirenul	1933	A fost inventat de chimistul german Wuff şi utilizat la fabricarea stilourilor şi jucăriilor. În 1951, firma BASF fabrică polistirenul expandat, utilizat ca izolant termic şi material antişoc.
Poliamidele	1935	În 1935, chimistul american Carothers de la firma Dupont de Nemours a descoperit fibrele poliamidice, pe care le-a brevetat în 1937 sub denumirea de *nailon*. În 1965, chimista americană Stéphanie Kwolek (născută în 1923) de la aceeaşi firmă a creat *kevlarul*, din bachelită şi nailon, un material neinflamabil şi foarte rezistent la şoc şi la coroziune, folosit în aeronautică. Ultimele poliamide ale firmei Dupont de Nemours sunt *kaptonul, dinilul* şi *pebaxul.*
Poliuretanul	1937	A fost inventat de chimistul german Otto Bayer (1902-1982), având forme şi întrebuinţări variate.
Teflonul	1938	Politetrafluoretilena, cunoscută sub denumirea comercială de *teflon*, a fost descoperită de chimistul american Roy J. Plunkett

Tabelul 7.1. (continuare)

0	1	2
		(1910-1994) de la Compania Dupont de Nemours, în 1938, şi brevetată în 1939. Posibilitatea placării metalelor cu teflon a fost pusă la punct în 1954 de francezul Marc Grégoire.
Poliesterul	1938	Prima sinteză a fost obținută de Smith, în 1901, iar primele aplicații (picturi gliceroftalice), în 1927, de Kienle. În 1938, Carleton Ellis (1876-1941) a obținut poliesterul termoreactiv, un poliester nesaturat cu numeroase varietăți şi aplicații. A fost apoi obținut poliesterul termoplast, de către chimiştii americani Dickson şi Whinfield (1940), comercializat sub denumirea de *fibre de dacron* (1946).
Polietilena	1939	Polietilena de joasă densitate a fost obținută în 1935 de englezii Reginald Gibson şi Eric Fawcett, fabricarea ei industrială începând în 1939. În 1953, chimistul german Karl Ziegler (1898-1973) a obținut polietilena de înaltă densitate, mult mai rigidă, pentru care, în 1963, a împărțit Premiul Nobel pentru chimie cu italianul Giulio Natta. În 1985 firmele DSM (Olanda) şi Allied (SUA) au obținut o fibră de polietilenă de 30 de ori mai rezistentă la tracțiune decât oțelurile cu greutatea egală cu a sa.
Polipropilena	1954	A fost obținută în 1954 de chimistul italian Giulio Natta prin polimerizarea propilenei.
Pebaxul	1981	În 1981, chimistul francez Gérard Deleens (născut în 1948) de la firma Atochem a creat o nouă familie de materiale sintetice, intermediară între cauciuc şi plastice. Aceste materiale se folosesc la fabricarea încălțămintei şi echipamentelor sportive.

7.2. Structura şi constituenții materialelor plastice

Materialele plastice sunt de fapt amestecuri de substanțe macromoleculare numite *polimeri* cu materiale auxiliare care modifică în mod avantajos caracteristicile polimerilor. Moleculele polimerilor conțin $10^3 \ldots 10^6$ atomi şi ei se formează prin unirea în lanț a două sau mai multor molecule de monomeri, monomerii fiind de aceeaşi natură sau diferiți. Polimerii au rol de liant şi determină proprietățile materialului plastic.

Ca materiale auxiliare se utilizează:

- *plastifianții* sunt substanțe lichide şi mai rar solide care au rolul de a mări plasticitatea, fluiditatea şi rezistența la şoc a materialului plastic. Ei trebuie să fie compatibili cu polimerul, să nu fie toxici şi volatili şi să aibă stabilitate la lumină şi căldură;
- *stabilizatorii* sunt substanțe care asigură menținerea proprietăților materialelor plastice la valorile inițiale atât în timpul prelucrării, cât şi în timpul exploatării lor, împiedicând acțiunea factorilor biologici (bacterii, ciuperci), fizici (influența luminii, oxigenului şi radiațiilor) şi chimici (polimerizare sau depolimerizare);
- *materialele de umplutură* sunt particule solide organice sau anorganice care nu se topesc la temperatura de prelucrare şi se adaugă pentru creşterea rigiditcase-

ţii, durităţii şi rezistenţei la uzură, precum şi pentru reducerea costului (rumeguş, deşeuri de fibre şi ţesături de bumbac şi in, hârtie, talc, nisip);

- *lubrifianţii* au rolul de a evita lipirea materialelor plastice de scule şi maşinile de prelucrat, precum şi de a asigura prelucrarea lor la temperaturi mai joase prin îmbunătăţirea curgerii (grafit, ceară, parafină, săpun mineral);
- *coloranţii* sunt pigmenţi anorganici sau organici care asigură materialului plastic culoarea dorită. Ei trebuie să fie rezistenţi la lumină, căldură şi intemperii;
- *antistaticele* sunt substanţe care împiedică electrizarea materialelor plastice sub formă de folii sau foi care se încarcă electrostatic la frecarea cu suprafeţele metalice şi atrag praful;
- *agenţii de ignifugare* au rolul de a mări rezistenţa la foc a materialului (compuşi ai stibiului, fosforului şi clorului);
- *agenţii fungistatici* opresc dezvoltarea ciupercilor, în special în condiţiile climatului tropical, cald şi umed. Ciupercile atacă îndeosebi materialele de umplutură şi plastifianţii, înrăutăţind caracteristicile mecanice şi aspectul exterior al materialului plastic.

7.3. Clasificarea materialelor plastice

Materialele plastice se pot clasifica după mai multe criterii, cel mai important fiind acela care are în vedere modificările suferite prin prelucrarea lor la cald (fig.7.2). Din acest punct de vedere, materialele plastice pot fi grupate în două categorii: materiale plastice termoreactive şi termoplaste.

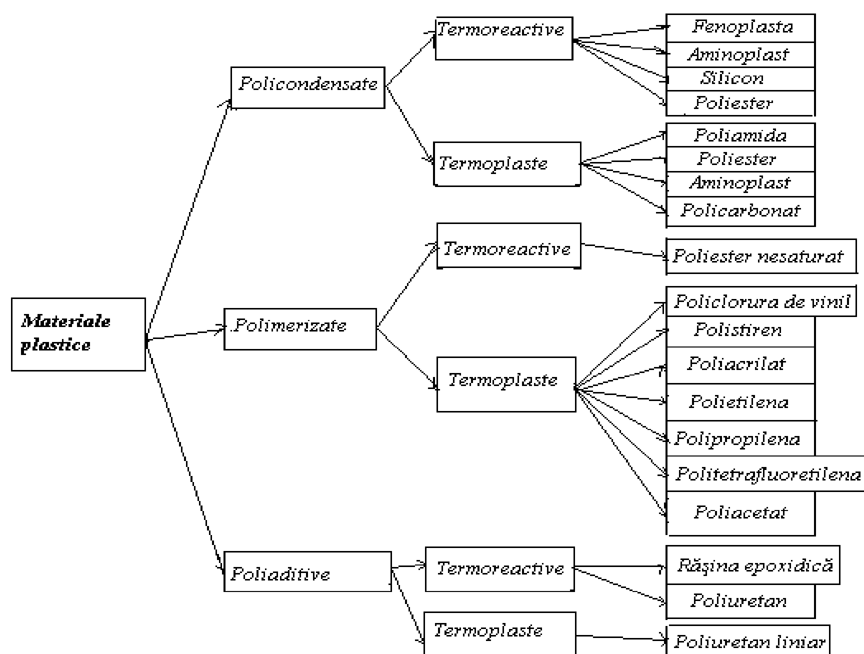


Fig.7.2. Clasificarea materialelor plastice după modul de obţinere.

Materialele termoreactive (*termorigide*) se caracterizează prin aceea că în timpul prelucrării, sub acțiunea căldurii şi presiunii, suferă transformări chimice ireversibile, devenind nefuzibile şi insolubile în solvenți. Ca urmare, aceste materiale nu se pot recicla.

Materialele termoplaste devin vâscoase prin încălzire şi după prelucrarea în piese se pot recicla, aceste operații putându-se repeta de mai multe ori fără ca materialul să sufere vreo transformare chimică.

După modul de obținere, materialele plastice se produc prin reacții de policondensare, polimerizare şi poliadiție.

Policondensarea este o reacție chimică în care are loc unirea alternantă a mai multor molecule mici de monomeri de naturi diferite, într-o macromoleculă, sub acțiunea căldurii, presiunii şi catalizatorilor, cu eliminarea concomitentă a unor substanțe secundare (apă, amoniac, HCl). Eliminarea apei conferă materialului porozitate şi higroscopicitate mai mari şi deci proprietăți dielectrice mai reduse.

Polimerizarea este o reacție chimică prin care substanțe cu masă moleculară mică, de aceeaşi natură, având caracter nesaturat (monomeri), se transformă în substanțe cu masă moleculară mai mare (polimeri), păstrând aceeaşi compoziție procentuală şi aceeaşi aranjare a atomilor în moleculă, fără eliminare de produse secundare.

Poliadiția este o reacție chimică prin care se introduc atomi sau molecule într-o altă moleculă cu caracter nesaturat şi de altă natură chimică, fără separare de produse secundare.

În cele ce urmează se vor prezenta principalele tipuri de materiale plastice obținute prin reacțiile chimice menționate, împreună cu proprietățile şi principalele lor utilizări.

a) – Fenoplasta (***PF***) se obține prin policondensarea fenolului (compus toxic al benzenului, cu miros specific, utilizat ca dezinfectant) cu formaldehidă sau cu alte aldehide, fiind materialul plastic cu cea mai mare răspândire. Reacția de condensare are loc în prezența unor catalizatori acizi sau bazici. Prima fenoplastă a fost brevetată în 1909 sub denumirea de *bachelită* de către chimistul belgian Baekeland, utilizându-se cu succes ca material electroizolant şi la fabricarea unor obiecte de uz industrial şi casnic.

Prin condensare în mediu acid ia naştere o răşină numită *novolac* care se utilizează la fabricarea lacurilor, iar prin condensare în mediu bazic se obțin trei tipuri de răşini: *rezol* (lac de impregnare), *rezitol* (masă de formare) şi *rezită* (piese electroizolante prelucrabile prin aşchiere). Aceste răşini se folosesc şi pentru impregnarea materialelor textile (textolit), hârtiei (pertinax) şi lemnului (fanerit).

Textolitul se obține prin impregnarea cu rezol şi presarea la cald a unui pachet de țesături textile şi se utilizează la confecționarea unor piese (roți dințate, discuri de fricțiune, segmenți) sau ca izolator electric. El se livrează sub formă de blocuri, plăci sau bare, se prelucrează prin aşchiere şi rezistă până la 120 ^{0}C.

Pertinaxul este un material electroizolant cu aspect lucios şi neted, obținut din straturi suprapuse de hârtie impregnată cu rezol care se presează la cald. El se utilizează la confecționarea tablourilor de distribuție, suporturilor pentru circuite imprimate şi a izolatoarelor pentru întrerupătoare şi transformatoare.

Faneritul se obţine prin presarea la cald a unor furniruri impregnate cu fenoplaste şi se utilizează la confecţionarea carcaselor de aparate electrotehnice sau ca izolator. Se mai numeşte *lignofoliu.*

b) – Aminoplastul (***UF***) se obţine prin reacţia de policondensare dintre formaldehidă şi compuşii grupării funcţionale amino (uree, melamină, anilină), rezultând răşini carbamidice, melaminice şi anilinice.

Răşinile carbamidice au proprietăţi asemănătoare cu cele ale bachelitei, dar se comportă mai bine la acţiunea arcului electric (gazele rezultate au afinitate mare pentru electroni şi sting arcul electric). Ca urmare, se folosesc la fabricarea siguranţelor pentru curenţi de înaltă tensiune. De asemenea, se mai utilizează la prepararea uleiurilor şi a compoziţiilor de impregnare pentru materialele plastice stratificate. Ca dezavantaj se menţionează rezistenţa slabă la acţiunea apei şi a agenţilor atmosferici, precum şi tendinţa de a crăpa.

Răşinile melaminice au o rezistenţă mai mare la acţiunea apei decât cele carbamidice, precum şi o rezistenţă mecanică superioară şi proprietăţi dielectrice mai bune. Ele se utilizează la prepararea lacurilor şi a emailurilor, precum şi pentru acoperiri de izolare electrică şi ca lianţi.

Răşinile anilinice au proprietăţi dielectrice foarte bune, putând fi utilizate la frecvenţe înalte, precum şi rezistenţă bună la acţiunea apei şi substanţelor alcaline, dar se prelucrează foarte greu prin aşchiere.

Aminoplastele se prelucrează în produse la fel ca fenoplastele, însă la temperaturi mai scăzute decât acestea din urmă. La temperaturi ridicate, aminoplastele încep să se descompună, culoarea lor se schimbă, iar în pereţii produselor se formează fisuri şi goluri.

c) - Siliconul (***SI***) este un compus macromolecular cu structura analoagă corpurilor organice, în stare fluidă sau sub formă de răşini, alcătuit din lanţuri sau cicluri de atomi de siliciu care alternează regulat cu atomi de oxigen. Lanţurile astfel formate mai au valenţe libere care pot fi completate cu hidrogen sau cu radicali organici (metil, etil, fenil). Prin urmare, proprietăţile siliconilor îmbină caracteristicile dielectrice ale materialelor organice cu stabilităţile chimică şi termică ale materialelor anorganice. Rezistă până la temperaturi de 300 ^{0}C, sunt neinflamabili şi nehigroscopici, nu dezvoltă gaze toxice, aderă la suprafeţele metalice şi sunt compatibili cu ţesutul uman.

În funcţie de structura lor moleculară, siliconii se prezintă sub formă de uleiuri şi unsori (molecule scurte), cauciucuri (molecule liniare) şi răşini (molecule spaţiale).

Uleiurile şi unsorile siliconice sunt incolore, inodore, cu punct de aprindere superior uleiurilor şi unsorilor minerale şi cu mare rezistenţă la oxigen şi căldură. Sunt insolubile în apă şi alcool. Se utilizează la ungerea mecanismelor din mase plastice şi a matriţelor pentru injectarea materialelor plastice. Uleiurile se mai folosesc la transformatoarele electrice speciale.

Cauciucul siliconic are proprietăţi mecanice mai slabe decât ale cauciucului natural, dar este mai ieftin şi este rezistent la oxigen, ozon şi uleiuri, conservându-şi elasticitatea la temperaturi cuprinse între 200 şi -50 ^{0}C. Se utilizează la izolarea cablurilor electrice flexibile şi a benzilor adezive, precum şi la

fabricarea huselor de protecție pentru telefoane mobile sau a garniturilor pentru acționări hidraulice, uşi şi trape de avioane.

Răşinile siliconice sunt materiale termorigide, nehigroscopice, greu inflamabile, rezistente la încălzire îndelungată şi cu foarte bune calități dielectrice. Se utilizează la fabricarea lacurilor de acoperire, lipire şi impregnare, precum şi la izolarea maşinilor electrice de puteri mari şi cu regimuri grele de lucru.

Fiind compatibile cu țesutul uman, siliconii se utilizează pe scară largă în chirurgia plastică (implanturi mamare) sau la fabricarea unor articole erotice.

d) - Poliesterul (***PET***) se obține prin policondensarea unui acid organic cu un alcool (acid tereftalic cu alcool metilic), în prezența unui catalizator. Reacția are loc într-o autoclavă (vas închis ermetic), la 280 ^{0}C, rezultând ca produs secundar apa. Poliesterul lichid se răceşte şi trece într-o masă sfărâmicioasă care, prin măcinare, devine un produs granular.

Prin presarea la cald a răşinilor poliesterice se obțin diverse piese folosite în construcția de maşini, precum şi ambarcațiuni, căzi de baie, rezervoare sau panouri protectoare. Foliile şi fibrele de poliester sunt foarte elastice şi se folosesc ca izolatoare electrice (izolații de crestătură la maşinile electrice).

Poliesterii nesaturați, obținuți prin reacția acidului maleic cu un glicol, sunt cunoscuți sub denumirea de *lacuri fără solvenți* şi se utilizează ca răşini de turnare şi impregnare sau pentru obținerea unor produse stratificate.

e) - Poliamida (***PA***) se obține prin policondensarea acizilor organici (adipic, sebacic) cu diamine (derivate ale amoniacului). Spre deosebire de alte materiale termoplaste, poliamidele se înmoaie într-un domeniu restrâns de temperaturi. Ele îşi mențin starea solidă până în imediata apropiere a punctului de topire, când se transformă brusc într-un lichid cu vâscozitate scăzută ce îngreunează prelucrarea lor. Au proprietăți mecanice foarte bune, se lipesc uşor şi nu sunt inflamabile. Au higroscopicitate mare şi caracteristici dielectrice reduse.

Cele mai cunoscute poliamide sunt nailonul şi caprolactama. *Nailonul* a fost brevetat în 1937 de americanul W. Carothers[2], revoluționând imediat industria textilă. El a fost folosit pentru confecționarea paraşutelor utilizate la debarcarea aliaților în Normandia din iunie 1944. La sfârşitul războiului, nailonul era simbolul modernismului şi prosperității. El se obține prin reacția de policondensare a acidului adipic cu clorohexanul, fiind incolor, inodor şi greu inflamabil şi se prelucrează prin turnare, presare şi filare. Cea mai cunoscută utilizare a sa este la confecționarea fibrelor sintetice din care, în afară de articole de îmbrăcăminte, se fabrică rachete de tenis, perii de toate felurile şi plase de pescuit.

Caprolactama se obține prin policondensarea acidului aminocapronic cu ciclohexanul, la 250 ^{0}C. Denumirea comercială românească a acestei poliamide este *relon*, el fiind întrebuințat la fabricarea țesăturilor şi tricotajelor.

---

[2]*Wallace-Hume CAROTHERS* (1896-1937) – chimist american cu studii la universități prestigioase din Illinois şi Dakota de Sud. În 1928 a fost angajat la firma de produse chimice Dupont de Nemours, ajungând în scurt timp directorul departamentului de cercetări fundamentale fizico-chimice. Aici a patentat neoprenul (1931) şi nailonul (1937). Din păcate, în 1937, s-a sinucis, în urma unei depresii cauzate de moartea intempestivă a surorii lui preferate.

Fibrele de poliamide se pot trata cu materiale lubrifiante (grafit, bisulfură de molibden), căpătând proprietăţi de antifricţiune. Din astfel de fibre se pot confecţiona lagăre, roţi de transmisie şi inele de uzură a căror temperatură de lucru nu depăşeşte 80 ^{0}C.

f) - Policarbonatul (***PC***) este un material termoplast amorf care se obţine prin dizolvarea dianului în soluţie de hidrat de sodiu şi clorură de metilen, peste care se insuflă gaz fosgen la 20 ^{0}C. El este transparent, are rezistenţă mecanică ridicată şi rigiditate bună, precum şi stabilitate la temperaturi de – 100…+130 ^{0}C şi la acţiunea unsorilor şi uleiurilor. Nu rezistă la benzen şi soluţii alcaline.

Policarbonaţii se prelucrează prin extruziune pentru obţinerea ţevilor care le înlocuiesc pe cele din cupru sau alamă. Se mai pot obţine profiluri, bare, plăci şi folii de ambalaj pentru industria uşoară. Având proprietăţi de izolare electrică foarte bune se utilizează la fabricarea unor componente din domeniul electric (cutii de siguranţă, elemente de bobine, capace de duze, tuburi pentru conductoare, abajururi). Se mai folosesc la obţinerea scuturilor şi căştilor de protecţie, precum şi a indicatoarelor reflectorizante.

g) - Policlorura de vinil (***PVC***) se obţine prin polimerizarea clorurii de vinil (gaz incolor, cu miros plăcut, rezultat prin clorurarea etilenei) şi se prezintă sub formă *dură* (fără plastifianţi) şi *moale* (cu plastifianţi – esteri ai acizilor ftalic, fosforic sau citric). A fost brevetată în 1912 de chimistul german F. Klatte[3].

Policlorura de vinil dură este un material termoplast amorf şi polar, cu rezistenţă şi rigiditate foarte bune. Se poate utiliza până la 60 ^{0}C şi are o rezistenţă chimică bună. Se utilizează la fabricarea rezervoarelor şi buteliilor pentru industriile fotografică şi chimică, la placări rezistente la acizi şi la realizarea panourilor acustice.

Policlorura de vinil moale are un grad mare de flexibilitate, dar o rezistenţă chimică şi o capacitate de încărcare termică mai scăzute. Din cauza conţinutului de plastifianţi, nu se recomandă pentru industria alimentară. Se foloseşte la fabricarea păpuşilor şi a animalelor gonflabile, a manşoanelor pentru cabluri, poşetelor, încălţămintelor şi impermeabilelor de ploaie, precum şi a covoarelor pentru pardoseli.

Policlorura de vinil se poate prelucra prin presare la cald, sudare, lipire şi aşchiere.

h) - Polistirenul (***PS***) se obţine prin polimerizarea stirenului (lichid incolor, transparent şi dulce), fiind un material termoplast transparent, rigid, dur şi foarte fragil. Are proprietăţi dielectrice foarte bune, este rezistent la apă, dar şi inflamabil. Pentru corectarea defectelor de mai sus s-au dezvoltat copolimeri noi, cu proprietăţi superioare, utilizaţi la confecţionarea carcaselor unor aparate casnice (roboţi de bucătărie, storcătoare de fructe, râşniţe de cafea, aparate de radio şi televizoare, aspiratoare, frigidere). Prin introducerea unor substanţe spumogene se obţin *polistirenul expandat* şi *polistirenul extrudat* (ultimul fiind mai dens) care se utilizează cu bune rezultate la izolarea termică a clădirilor, sub formă de plăci de

[3]*Fritz KLATTE* (1880-1934) – chimist german care a brevetat polimerizarea clorurii de vinil (1912). Fabricarea industrială a policlorurii de vinil a început în 1931, la concernul german IG Farben. Klatte s-a îmbolnăvit de tuberculoză şi a decedat în 1934 într-un sanatoriu din Klagenfurt, în sudul Austriei.

diverse grosimi.

i) - Poliacrilatul (***PMMA***) se obține prin polimerizarea acizilor acrilic sau metacrilic şi are proprietăți asemănătoare polistirenului, dar cu caracteristici dielectrice mai reduse.

Prin polimerizarea metacrilatului de metil (un ester al acidului metacrilic) se obține *plexiglasul* care are un grad ridicat de transparență (97%), este rezistent la apă şi la temperaturi scăzute şi dur. Rezistența este de şapte ori mai mare decât la sticla obişnuită, iar bucățile sparte nu sunt periculoase, ceea ce a condus la folosirea sa în cele mai diverse domenii: acoperişuri transparente, machete pentru instrucția şcolară, lentile, lupe, ochelari de protecție, geamuri incasabile, vitrine, vizoare, displayuri şi rechizite de scris şi desenat. Poate fi livrat şi sub formă de blocuri, plăci, profiluri, țevi şi fire şi se prelucrează prin deformare la cald sau prin aşchiere, fiind incolor sau colorat.

j) - Polietilena (***PE***) se obține prin polimerizarea etilenei extrase din țiței şi din gazele care rezultă la distilarea cărbunilor. Dacă polimerizarea se face la presiuni mari (1000…2000 bar) se obține *polietilenă de joasă densitate*, iar dacă se face la presiuni obişnuite (1 bar), se obține *polietilenă de înaltă densitate*. Prima este mai puțin rigidă, combinând flexibilitatea cu tenacitatea, utilizându-se la fabricarea pungilor şi sacilor menajeri, a conductelor flexibile şi jucăriilor. Cea de înaltă densitate este mai dură, rezistentă la tracțiune şi încovoiere şi se utilizează la fabricarea canistrelor şi rezervoarelor de apă şi ulei, fitingurilor şi conductelor de gaz metan, precum şi la placarea schiurilor. Având proprietăți dielectrice bune, se mai foloseşte la izolarea cablurilor electrice şi telefonice submarine sau subterane.

k) - Polipropilena (***PP***) este un material plastic relativ recent, descoperit în 1954, în Italia, de G. Natta[4], cu proprietăți mecanice şi termice mai bune ca ale polietilenei. Se obține prin polimerizarea unor produse obținute din țiței sau cărbune. Are o densitate scăzută, este impermeabilă şi insolubilă, rezistentă la tracțiune şi la încovoiere. Se prelucrează uşor prin injectare, se sudează, se aşchiază şi se utilizează la fabricarea cofrajelor, cutiilor, rezervoarelor, conductelor şi manşoanelor, precum şi la acoperiri de protecție. Din polipropilenă se mai confecționează mobilier de grădină şi carcase pentru maşini de spălat, frigidere, ventilatoare şi uscătoare de păr.

l) - Politetrafluoretilena (***PTFE***) se obține prin polimerizarea tetra-fluoretilenei şi are o structură asemănătoare cu cea a polietilenei. Este singurul produs organic care rezistă până la 270 ^{0}C. Este complet inertă din punct de vedere chimic, are un coeficient de frecare mic, nu arde şi este un excelent dielectric.

Procesul său de fabricare este însă dificil, fiind asemănător cu cel folosit în metalurgia pulberilor (obținerea pulberii, presare şi sinterizare). Denumirea comercială a produsului este *teflon*, el având numeroase utilizări: aparatură industrială şi de laborator, segmenți de piston, cuzineți pentru lagăre, vase de bucă-

[4]*Giulio NATTA* (1903-1979) – chimist italian și profesor la Universitatea Politehnică din Milano. Începând cu anul 1938 a făcut cercetări pentru obținerea cauciucului sintetic și butadienei și pentru polimerizarea olefinelor. În 1953 a început cercetările pentru descoperirea unor noi polimeri, în cadrul firmei Montecatini, care s-au finalizat prin obținerea polipropilenei. În 1963, a fost recompensat cu Premiul Nobel, împreună cu chimistul german Karl Ziegler, pentru obținerea polimerilor.

tărie, izolatoare electrice şi ţesături rezistente la foc şi acizi.

m) - Poliacetatul (***POM***) se obţine prin polimerizarea formaldehidei (gaz obţinut prin dehidrogenarea alcoolului metilic), având o bună rezistenţă şi rigiditate, un coeficient mic de frecare şi rezistenţă la eroziune. Se poate utiliza până la 120 ^{0}C şi este foarte rezistent din punct de vedere chimic. Este alb, semicristalin şi practic nu absoarbe apă.

Se prelucrează prin injecţie, extrudare şi aşchiere şi se foloseşte la confecţionarea unor piese cu precizie dimensională ridicată: bucşe pentru lagăre, discuri, garnituri pentru închideri rapide, roţi dinţate, balamale, taste pentru calculatoare, televizoare şi aparate radio.

n) - Răşina epoxidică (***EP***) se obţine prin reacţia de poliadiţie dintre bisfenolul de tip *A* şi epiclorhidrină, urmată de o durificare cu un agent de întărire (amină, amidă, anhidridă, acid organic). În funcţie de raportul constituenţilor care participă la reacţia de poliadiţie, se pot obţine răşini epoxidice lichide (cu masă moleculară mică) sau solide (cu masă moleculară mare).

Răşinile epoxidice reacţionează cu întăritorii fără degajare de apă sau alte produse secundare şi, ca urmare, ele nu conţin microgoluri sau bule de gaz şi suferă o contracţie foarte mică în timpul întăririi (0,5…2%). Duritatea lor este mult mai mare decât a fenoplastelor. De asemenea, ele aderă foarte bine la suprafeţele metalice, ceramice, de lemn, sticlă sau cauciuc. Sunt neinflamabile, rezistente la acţiunea agenţilor chimici, bune dielectrice şi au stabilitate termică bună. Printre puţinele dezavantaje ale lor se menţionează preţul ridicat în comparaţie cu alte răşini şi apariţia alergiilor şi dermatitelor în timpul prelucrării şi manipulării.

Se folosesc în electrotehnică, în industria vopselelor şi lacurilor, precum şi la obţinerea unor laminate pentru componente de rezistenţă şi rigiditate în construcţiile aerospaţiale (aripi, pale de rotor pentru elicoptere). Se mai utilizează la confecţionarea modelelor de turnătorie şi a matriţelor pentru operaţii de presare şi injecţie. Întrucât ele aderă practic la orice material, se folosesc la fabricarea unor adezivi extrem de puternici.

o) – Poliuretanul (***PU***) se obţine prin reacţia de poliadiţie dintre un cianat (derivat al acidului cianhidric) şi un alcool şi poate avea molecule spaţiale sau liniare. Primul are proprietăţi asemănătoare fenoplastei, cu excepţia higroscopicităţii (care este mai mică) şi a rezistivităţii electrice (care este mai mare), iar al doilea are proprietăţi asemănătoare poliamidei, cu excepţia absorbţiei de apă care este mai redusă.

Poliuretanii se prelucrează uşor prin presare, laminare şi filare. Din fibre de poliuretan se confecţionează perii, filtre, plase, ţesături electroizolante şi saltele flexibile. Poliuretanii se mai utilizează la fabricarea cabinelor de camioane, carcaselor de calculatoare şi aparate de filmat, iar răşinile poliuretanice, la obţinerea lacurilor şi cleiurilor pentru placaje.

În tabelul 7.2 sunt prezentate proprietăţile fizice, mecanice şi tehnologice ale materialelor plastice prezentate anterior.

7.4. Prelucrarea materialelor plastice

Prelucrarea materialelor plastice are ca scop transformarea lor în semifabricate sau piese finite. Prelucrarea propriu-zisă este precedată de amestecarea şi omogenizarea răşinii de bază cu ceilalţi constituenţi şi se realizează în amestecătoare sau malaxoare.

Alegerea procedeului tehnologic de prelucrare depinde de natura materialului plastic (termoreactiv, termoplast), de starea materiilor prime (uscată, vâscoasă sau fluidă) şi de forma produselor finite (foi, tuburi, bare sau piese). Ca urmare, materialele plastice se pot prelucra prin presare, turnare sub presiune, extrudare, calandrare, filare, expandare, sudare, lipire şi prin procedee mecanice.

7.4.1. Presarea

Presarea constă în aplicarea unei presiuni de valoare determinată asupra unui material plastic introdus într-o matriţă, într-un interval de temperaturi date. Ea se realizează prin presare directă şi presare prin transfer.

a) - Presarea directă se face la rece, în cazul materialelor termoplaste şi la cald, în cazul celor termoreactive.

Presarea directă la rece (fig.7.3) constă în încărcarea materialului *2* în forma *3* (fig.7.3.a), presarea cu poansonul *1* (fig.7.3.b) şi evacuarea piesei *4* cu împingătorul *5* (fig.7.3.c). Metoda este simplă şi ieftină, dar piesele obţinute nu au luciul şi netezimea celor realizate prin presare la cald.

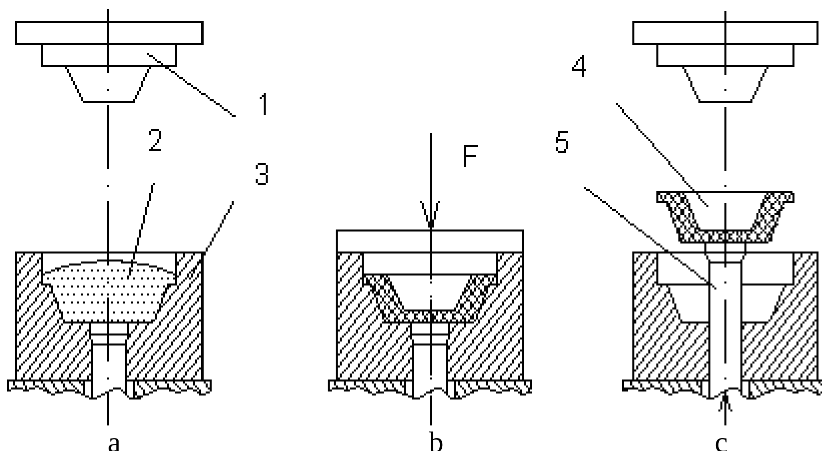


Fig.7.3. Presarea directă la rece.

Presarea directă la cald (fig.7.4) se aplică maselor plastice termoreactive care se introduc în matriţa *1*, unde se încălzesc cu rezistenţa electrică *2*, la 160…190 ^{0}C şi se presează cu poansonul *3*, la 100…500 daN/cm^{2}. Piesa *4* este extrasă din matriţă cu împingătoarele *5*.

b) - Presarea prin turnare (***prin transfer***) (fig.7.5) constă în plastifierea materialului în camera de încărcare a cilindrului *2*, după care are loc împingerea lui

Tabelul 7.2. **Caracteristicile principalelor**

Tipul	Cod ISO 1043	Caracteristici fizice						
		Densitatea [g/cm^3]	Stabilitatea termică [^{0}C]	Conductibilitatea termică [J/m·K]	Coeficientul de dilatare liniară [10^{-5}/K]	Contracția la prelucrare [%]	Rezistivitatea electrică [Ω·cm]	Higroscopicitatea [%]
Fenoplastă	PF	1,4-1,9	150	0,3-0,7	1-5	0,2-0,8	10^{11}-10^{12}	0,1-0,2
Aminoplast	UF	1,5-2,0	140-160	0,35-0,7	2-6	0,2-1,2	10^{12}-10^{13}	0,01-0,7
Silicon	SI	1,2- 1,25	200	0,21-0,28	25-30		10^{10}-10^{15}	0,1-0,2
Poliester	PET	1,31-1,37	130-175	0,24-0,29	7	1,3-2,0	10^{14}-10^{16}	0,02-0,1
Poliamidă	PA	1,12-1,14	105	0,27-0,30	7-11	0,8-2,0	10^{12}-10^{15}	0,3-10
Policarbonat	PC	1,2-1,23	125	0,21-0,23	6-7	0,7-0,8	10^{16}	0,15
Policlorură de vinil (dură)	PVC	1,32-1,45	60-70	0,14-0,17	7-8	0,5-1,0	10^{11}-10^{18}	0,1-0,6
Polistiren	PS	1,05	70-85	0,15-0,17	7-8	0,4-0,7	10^{14}-10^{17}	0,02-0,1
Poliacrilat	PMMA	1,17-1,2	70	0,18-0,19	7-9	0,3-0,8	10^{15}	0,3-0,4
Polietilenă	PE	0,94-0,96	70-120	0,51	13-20	2,0-5,0	10^{17}-10^{19}	0,015
Polipropilenă	PP	0,90	110	0,20-0,22	10-18	1,0-2,5	10^{17}	0,01-0,03
Politetra-fluoretilenă	PTFE	2,1-2,2	250	0,25	8-10	3,0-4,0	10^{16}-10^{18}	0,005
Poliacetat	POM	1,4-1,45	120	0,29-0,36	11-13	1,6-2,8	10^{15}	0,25
Rășină epoxidică	EP	1,5-1,9	130-150	0,40-0,80	2-6	0,0-0,5	10^{16}-10^{17}	0,1-0,35
Poliuretan	PU	1,20	127-135	0,26-0,28	5-6	0,7-0,8	10^{11}-10^{15}	0,35-0,40

materiale plastice

Caracteristici mecanice							Caracteristici tehnologice						
Rezis-tența la tracțiune [N/mm^2]	Modulul de elasticitate [N/mm^2]	Alun-girea la rupere [%]	Rezi-liența la șoc [kJ/m^2]	Rezis-tența la încovo-iere [N/mm^2]	Fluajul [N/mm^2]	Duritatea Shore [^{0}Shore]	Presare	Injectare	Extrudare	Calandrare	Expandare	Sudare	Lipire
15-40	6000-10.000	1	1-15	50-60		90-110	X	X		X	X		X
15-30	5000-9000	1	4-20	55-80		116-120	X	X		X			X
5,5-7,0	6200	100				40-45	X	X		X	X		X
50-75	2500-3200	3-4	3-4	110	26	85	X	X	X				X
60-90	1500-3200	6-12	3-20	11-12	6	104	X	X	X			X	X
55-70	2000-2500	5-7	20-36	70	18	70	X	X	X			X	X
50-80	2900-3600	3-7	4-8	70-100	20-25	52-98	X	X	X	X		X	
45-65	3000-3600	2-4	2-3	60-90	18-20	75	X	X	X		X	X	X
60-90	2400-4500	2-10	2-3	80-100	15-20	80-100		X	X	X		X	X
20-35	400-1500	12-20	3-20	13-30	2-5	55	X	X	X		X	X	X
18-38	650-1400	10-20	4-14	45	5-6	95	X	X	X	X	X	X	X
9-12	450-750	250-500	13-16	15	1-2	50-65	X	X	X				X
60-80	2500-3500	8-15	4-10	98	12-18	94	X	X	X			X	X
60-200	5000-20000	2-5	5-20	120	100-150	110-120	X	X		X	X		
40	2100-2500	5-6	2-4	60	18	40-45	X	X	X	X	X	X	X

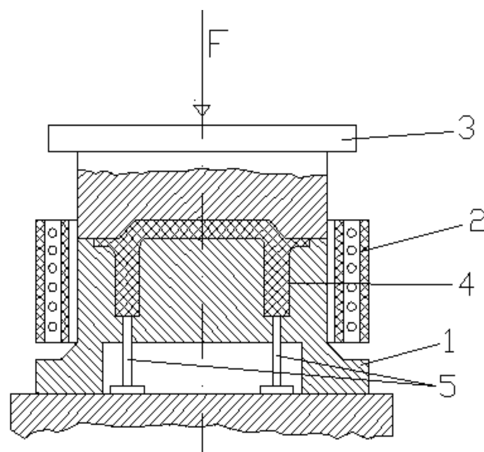


Fig.7.4. Presarea directă la cald.

cu poansonul *1* în matriţa alcătuită din semimatriţele *3* şi *5*. Piesa *4* este extrasă cu împingătorul *6*, după dezasamblarea matriţei, rezultând şi piciorul de turnare *7* care se înlătură prin tăiere. În camera de încărcare este suficientă încălzirea materialului doar la 80…90 ^{0}C, la transferarea lui în cavitatea matriţei, având loc o încălzire suplimentară, datorită presiunii poansonului, de 900…1500 daN/cm^2. Astfel, este posibilă obţinerea unor piese cu pereţi subţiri şi cu armături metalice, productivitatea fiind şi ea foarte bună.

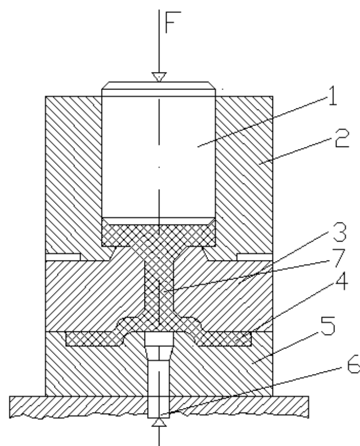


Fig.7.5. Presarea prin turnare (prin transfer).

În toate cazurile, matriţele se confecţionează din oţel sau bronz şi ele pot fi deschise sau închise. În cazul matriţelor deschise nu este necesară o dozare precisă a materialului, rezultând piese cu bavuri, iar în cazul celor închise este necesară o dozare exactă a acestuia, rezultând piese cu forme complicate şi pereţi subţiri. Ca maşini-unelte pentru presare se utilizează presele hidraulice.

7.4.2. Turnarea sub presiune (prin injecţie)

Se aplică materialelor termoplaste şi înlătură dezavantajul presării, şi anume acela al dozării şi încălzirii materiilor prime care se poate face în condiţii mai bune şi mai avantajoase. Procedeul se aplică în producţia de serie mare şi de masă şi se realizează cu o maşină de turnat sub presiune (fig.7.6).

Materialul granulat din pâlnia *1* ajunge în dozatorul *2*, de unde este împins cu pistonul *3* în cilindrul *4*, la cursa de mers în gol a pistonului *5*. La capătul cilindrului *4*, materialul este încălzit la 180…280 ^{0}C cu rezistenţa electrică *6*, fiind adus în stare vâscoasă. Pistonul *5* dezvoltă presiuni de 350…2000 daN/cm^2, obligând materialul plastic să treacă în matriţa *7* prin duza *8*. Deflectorul *9* asigură uniformizarea temperaturii şi fluidităţii materialului. La contactul cu pereţii

matriței, prin care circulă apă de răcire, materialul se răceşte brusc, rezultând piesa *10* care se scoate prin dezasamblarea matriței.

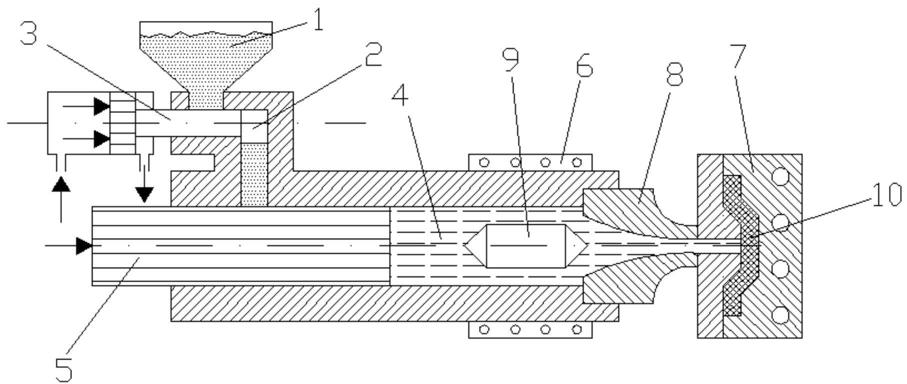


Fig. 7.6. Turnarea sub presiune (prin injecție).

7.4.3. Extrudarea

Procedeul se utilizează îndeosebi la prelucrarea materialelor termoplaste şi constă în trecerea forțată a acestora prin deschizătura profilată a unei matrițe prin împingere cu un melc (fig.7.7). Din pâlnia de alimentare *1*, materialul granular curge liber în corpul cilindric al maşinii de extrudat, fiind împins cu melcul *2*, acționat electric, către matrița *3*. Materialul este încălzit cu rezistența electrică *4*, la 100…400 ^{0}C. Pentru obținerea produselor tubulare,se foloseşte dornul *5*, montat coaxial pe melcul *2*.

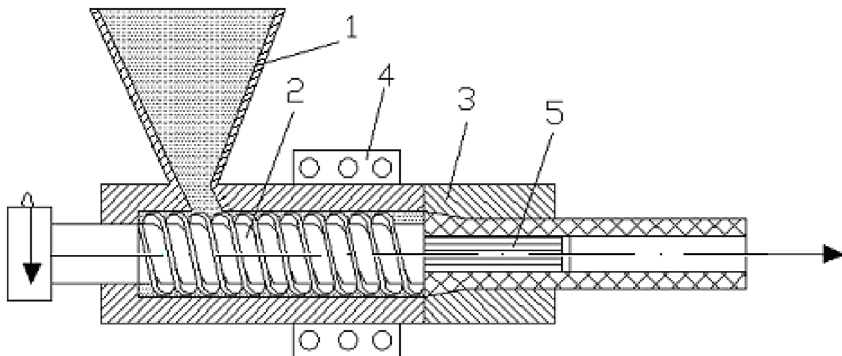


Fig. 7.7. Extrudarea.

În funcție de orificiul de trecere al matriței, se mai pot obține diverse tipuri de profiluri, benzi sau izolații pentru cabluri electrice. Pentru accelerarea solidificării produselor extrudate, acestea sunt răcite cu aer sau apă şi sunt preluate de transportoare cu bandă.

7.4.4. Calandrarea

Calandrarea este un procedeu de laminare a materialelor plastice care se

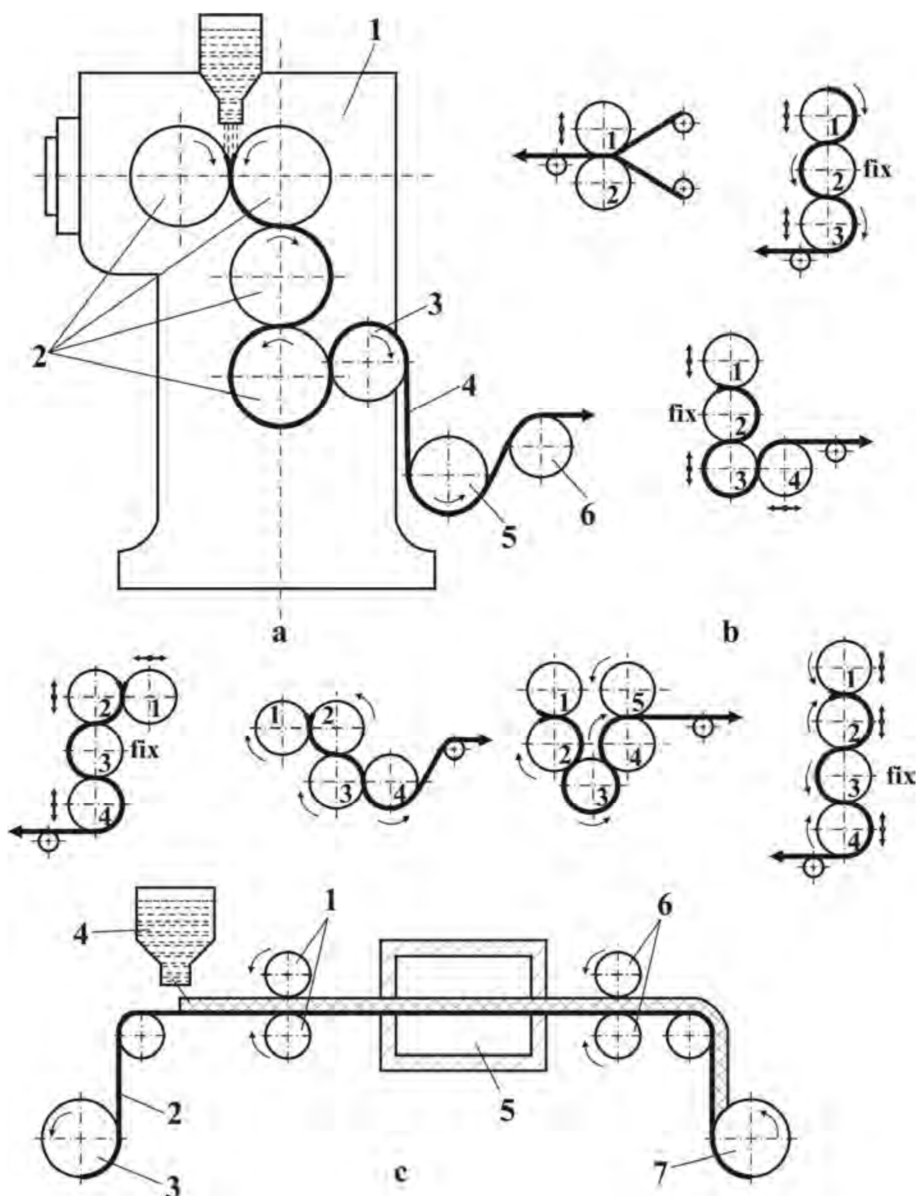


Fig.7.8. Calandrarea.

realizează cu mai mulți cilindri încălziți şi care se rotesc în sensuri contrare. Cu ajutorul calandrului se obțin folii simple sau multistrat de diverse grosimi, netede

sau cu modele imprimate în relief, precum şi țesături textile impregnate cu materiale plastice (muşamale şi linoleumuri).

Calandrul este o maşină-unealtă cu mai mulți cilindri de laminare, cu posibilitatea reglării distanței dintre ei, a turației şi temperaturii (fig.7.8.a). În batiul *1* al calandrului, cu rigiditate foarte mare, se află cilindrii de lucru *2*, precum şi cilindrul auxiliar *3*. Folia *4* este răcită cu cilindrul exterior *5* şi condusă spre dispozitivul de înfăşurare cu cilindrul *6*.

Calandrele pot avea doi până la cinci cilindri de lucru (fig.7.8.b), aşezați sub diferite forme. Cu cât numărul acestora este mai mare, cu atât folia obținută va avea grosimea mai uniformă şi caracteristici fizico-mecanice mai bune.

Calandrarea se foloseşte şi la impregnarea cu material plastic a unor țesături textile (fig.7.8.c). Cilindrii de presare *1* impregnează țesătura textilă *2*, derulată de pe tamburul *3*, cu materialul plastic *4*. Țesătura impregnată trece prin cuptorul de încălzire *5* şi printre cilindrii de calibrare *6*, fiind înfăşurată pe tamburul *7*.

7.4.5. Filarea

Filarea se aplică materialelor termoplaste şi se foloseşte la obținerea firelor şi benzilor utilizate la fabricarea periilor, plaselor de pescuit, sacilor, țesăturilor pentru mobilă şi la izolarea conductoarelor electrice (fig.7.9). Materialul *1* este presat cu poansonul *2* în camera *3*, încălzită cu rezistența electrică *4*, obligându-l să treacă prin orificiile filierei *5*. Firele *6* sunt răcite într-un curent de aer şi etirate (întinse) pentru orientarea longitudinală a moleculelor, ceea ce conduce la creşterea rezistenței la tracțiune a acestora.

7.4.6. Expandarea

Expandarea se aplică pentru obținerea materialelor cu structură poroasă şi se poate realiza prin trei procedee.

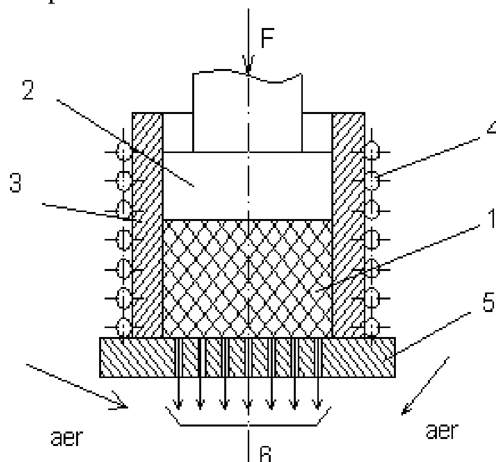


Fig.7.9. Filarea.

a) - Procedeul de lovitură a spumei constă în suflarea unui curent de aer într-o soluţie de apă cu săpun, pentru formarea unei spume portante. În această spumă se introduce materialul plastic care se va întări după răspândirea pe bulele portante de spumă.

b) - Procedeul cu amestec se realizează prin amestecarea a două materiale care reacţionează între ele fie imediat, fie după încălzire, producând gaze. Ca urmare, materialele de prelucrat se transformă în spumă, iar prin solidificare rezultă un produs spongios.

c) - Procedeul cu încorporarea unui agent de expandare constă în introducerea în amestec a agentului şi presarea în matriţe. La reîncălzire, agentul de expandare se dilată sau se descompune şi produce spuma, a cărei structură se fixează prin răcire.

7.4.7. Sudarea

Sudarea se aplică materialelor termoplaste şi se poate face cu sau fără adaos de material. Sudarea cu material de adaos se utilizează în cazul produselor cu grosimi mari, iar sudarea fără material de adaos, în cazul produselor cu grosimi mici. Materialul se încălzeşte la temperatura de curgere vâscoasă, după care piesele se presează una către cealaltă, realizându-se o difuziune a macromoleculelor şi deci

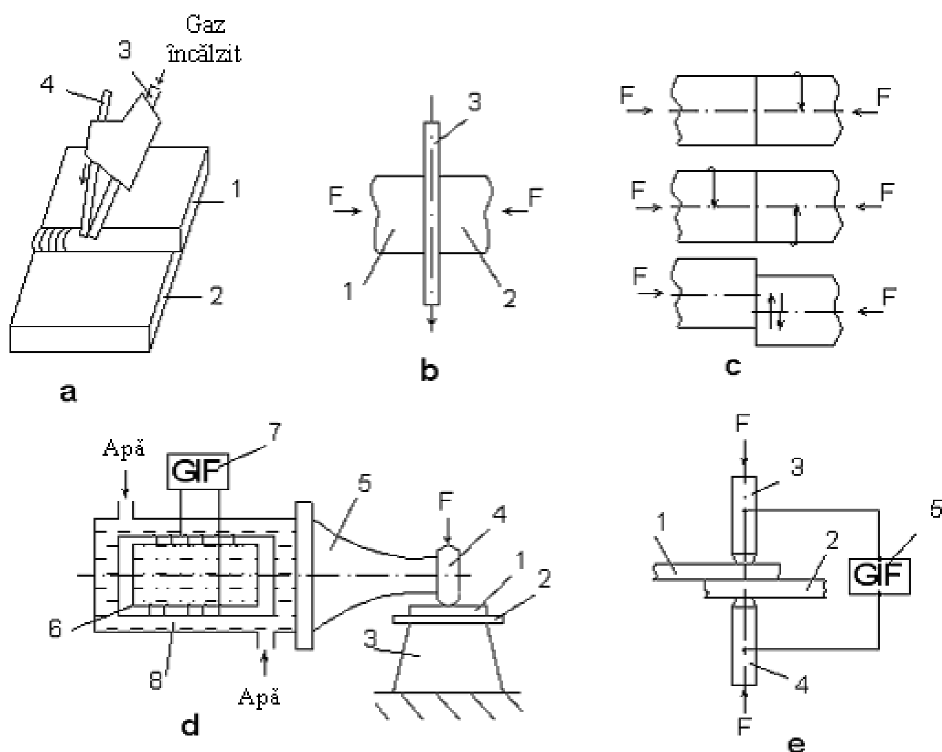


Fig.7.10. Sudarea.

o îmbinare nedemontabilă. O sudură de bună calitate se obține atunci când materialele sunt de acelaşi tip şi au o vâscozitate aproximativ egală. Sudarea materialelor plastice se poate face prin mai multe procedee (fig.7.10).

a) - Sudarea cu gaz încălzit (fig.7.10.a) se aplică pieselor din polietilenă, polipropilenă şi policlorură de vinil, cu grosimi mai mari de 0,5 mm. Marginile pieselor *1* şi *2* sunt aduse în stare plastică, prin încălzire la 230…290 ^{0}C, cu un gaz insuflat prin conducta *3*. Materialul de adaos *4* are o compoziție identică sau apropiată cu a pieselor de sudat, iar ca gaze se utilizează aerul, azotul sau argonul.

b) - Sudarea cu element încălzit (fig.7.10.b) se aplică pieselor din polietilenă şi polipropilenă şi constă în încălzirea suprafețelor de îmbinat *1* şi *2* cu elementul încălzit *3* care poate fi o rezistență electrică echipată cu un regulator de temperatură sau un tub cu aer cald. După aducerea suprafețelor de îmbinat în stare plastică, elementul încălzit se îndepărtează, iar piesele se presează una către cealaltă cu forțele *F*.

c) - Sudarea prin frecare (fig.7.10.c) se realizează prin frecarea suprafețelor frontale ale pieselor până la plastifiere, după care piesele sunt presate axial una spre cealaltă. Mişcările relative dintre piese se obțin prin rotirea uneia dintre piese, rotirea în sens contrar a ambelor piese sau prin deplasarea rectilinie-alternativă a uneia dintre piese. Metoda se aplică sudării pieselor din polietilenă, policlorură de vinil, poliacrilat, polistiren, nailon şi teflon care au coeficienți mari de frecare.

d) - Sudarea cu ultrasunete (fig.7.10.d) este o metodă de sudare modernă. Piesele de sudat *1* şi *2* se aşază pe suportul *3*, fiind apăsate cu forța *F* de sonotrodul *4*, aflat la capătul concentratorului de ultrasunete *5*. Ultrasunetele sunt produse de transductorul magnetostrictiv *6*, prin transformarea curenților de înaltă frecvență produşi de generatorul *7*. Transductorul magnetostrictiv este răcit cu apă care circulă prin radiatorul *8*. Ultrasunetele (vibrații mecanice cu frecvențe de 20…30 kHz şi amplitudini de 12,5…52 μm) produc încălzirea locală rapidă a pieselor şi prin apăsarea cu sonotrodul ele se sudează.

Procedeul este foarte productiv şi se recomandă pentru producția de masă în industriile de automobile, electrică şi a ambalajelor, în cazul următoarelor materiale: polistiren, policarbonat, poliamidă, poliacrilat, polipropilenă şi polietilenă.

e) - Sudarea cu curenți de înaltă frecvență (fig.7.10.e) se realizează prin introducerea pieselor *1* şi *2* între electrozii *3* şi *4*, alimentați cu curenți de înaltă frecvență de generatorul *5*. Frecvența de sudare uzuală este de 27 MHz. Curenții de înaltă frecvență produc încălzirea rapidă a pieselor în zona dintre electrozi şi prin apăsarea cu forțele *F*, acestea se sudează. Principalele domenii de aplicare sunt confecționarea impermeabilelor pentru ploaie, bare antişoc şi faruri de automobile, ambalaje şi jucării din policlorură de vinil.

7.4.8. Lipirea

Lipirea materialelor plastice este un procedeu tehnologic de îmbinare nedemontabilă a două piese cu ajutorul unui solvent sau al unui adeziv. Solvenții se utilizează la lipirea materialelor de acelaşi fel, realizând o legătură a macromolecu-

lelor celor două piese. La sfârşitul operației, solventul se evaporă, iar piesele rămân îmbinate. Metoda se aplică polistirenului, policarbonatului şi policlorurii de vinil.

Lipirea cu adezivi se aplică atât materialelor de acelaşi fel, cât şi celor de naturi diferite. Adezivul realizează îmbinarea fie printr-un proces de evaporare a solventului, fie printr-o reacție chimică între cei doi componenți ai săi.

a) - Adezivii cu solvenți organici sunt materiale termoplaste dizolvate în solvenți. După lipire, solventul se evaporă, iar lipitura este o peliculă de polimer care uneşte cele două piese.

b) - Adezivii termofuzibili fără solvenți se întăresc prin polimerizarea produsă de acceleratori, de căldură sau de lumină. În primul caz (adezivii de poliadiție), reacția dintre cele două componente este declanşată de un catalizator. Din această categorie fac parte adezivii pe bază de răşini epoxidice. Alți adezivi se întăresc printr-o încălzire de scurtă durată sau în prezența unei radiații ultraviolete.

În toate cazurile, rezistența îmbinărilor lipite este influențată de proprietățile mecanice ale pieselor asamblate şi ale adezivului, de respectarea tehnologiei de asamblare, de forma geometrică a îmbinării şi de tipul solicitării. Suprafețele de lipit trebuie să fie perfect curățate de grăsimi, apă şi praf. O cerință importantă se referă la lipsa bulelor de aer sau de gaz în filmul de adeziv.

7.4.9. Prelucrări mecanice

Prelucrarea materialelor plastice prin procedee mecanice se recomandă în cazul pieselor de dimensiuni mari şi cu forme complicate, precum şi în producția de serie mică şi de unicate, când nu se justifică achiziționarea instalațiilor de presare sau injectare. Materialele plastice se pot debita prin forfecare sau cu ferăstraie şi cu discuri abrazive şi se pot prelucra prin ştanțare, strunjire, frezare, găurire şi rabotare. Prelucrarea lor diferă substanțial de cea a metalelor, datorită proprietăților fizico-mecanice şi tehnologice specifice.

Conductibilitatea termică foarte scăzută a materialelor plastice (mai mică de 500 de ori decât cea a metalelor) determină o transmitere redusă a căldurii în piesă şi în aşchii, ceea ce conduce la încălzirea însemnată a sculei şi a stratului superficial al piesei. Pentru evitarea exfolierii materialului în zona de prelucrare, se recomandă utilizarea lichidelor active de ungere şi răcire, astfel încât în zona de contact dintre sculă şi piesă să nu se depăşească 160 ^{0}C, pentru materialele plastice termoreactive şi 60…130 ^{0}C, pentru cele termoplaste. Creşterea temperaturii în zona de aşchiere conduce şi la depuneri de material pe tăişul sculei, ceea ce determină modificarea unghiului de degajare, creşterea forțelor de aşchiere, apariția vibrațiilor şi scăderea calității suprafețelor prelucrate.

a) - Debitarea se face în cazul produselor obținute prin calandrare şi extrudare (plăci, profiluri şi țevi), ale căror capete trebuie să fie bine prelucrate. Ea se realizează cu ferăstraie circulare sau cu bandă, cu freze-disc, cu foarfece mecanice, cu discuri abrazive sau cu jeturi de lichide de înaltă presiune.

b) - Ştanțarea este un procedeu foarte productiv care se realizează cu ajutorul unor matrițe speciale numite *ştanțe* şi al unor prese (cu excentric,

hidraulice etc). Prin ştanţare se pot obţine piese propriu-zise sau se pot executa unele operaţii secundare: perforare, decupare, tăiere marginală şi debavurare.

c) - Strunjirea se face pe toate tipurile de strunguri, cu cuţite din oţel rapid sau armate cu plăcuţe dure din carburi metalice. Se utilizează viteze mari de aşchiere (100…700 m/min) şi avansuri mici (0,1…0,5 mm/rot, la degroşare şi 0,01…0,03 mm/rot, la finisare), rezultând o secţiune a aşchiei de 3…5 mm^2. Se pot astfel prelucra suprafeţe cilindrice sau conice exterioare sau interioare, suprafeţe plane sau profilate şi filete. Fixarea semifabricatelor se face în bucşe elastice, pentru evitarea deformării lor.

d) - Frezarea se realizează pe diverse tipuri de maşini de frezat, acestea trebuind dotate cu instalaţii pentru captarea aşchiilor, prafului şi gazelor care ar putea fi nocive. Şi în acest caz se recomandă utilizarea lichidelor active de ungere şi răcire. Frezele utilizate la prelucrarea materialelor plastice se deosebesc constructiv de cele folosite la prelucrarea metalelor, având diametre mai mari şi unghiuri de degajare şi aşezare ale dinţilor relativ mari. În cazul frezelor cu dinţi fini, există pericolul depunerilor de material pe tăişuri. Vitezele de aşchiere sunt de 100…600 m/min, avansurile pe rotaţie de 0,1…0,3 mm/rot, iar adâncimile de aşchiere de 2…5 mm.

e) - Prelucrarea alezajelor se realizează prin găurire, lărgire, adâncire, lamare, alezare şi filetare, folosindu-se sculele corespunzătoare şi maşini de găurit obişnuite. La găurire se recomandă burghie din oţel rapid cu unghiul la vârf de $130…140^0$, viteze de aşchiere de 50…80 m/min şi avansuri de 0,2…0,5 mm/rot. La prelucrarea alezajelor adânci se folosesc burghie prevăzute cu canale interioare prin care mediul de răcire este adus sub presiune în zona de aşchiere. Ca mediu de răcire se poate folosi şi aerul care asigură o bună evacuare a aşchiilor şi a prafului.

f) - Rabotarea se aplică la prelucrarea suprafeţelor plane şi se face cu viteze mici de aşchiere, pe şepinguri sau pe raboteze. Cuţitele de rabotat au unghiuri de degajare de $10…15^0$ şi sunt confecţionate din oţel rapid sau sunt armate cu plăcuţe dure.

7.5. Dicţionar român-englez-francez de cuvinte-cheie

material plastic termoreactiv	thermosetting plastic	plastique (*m*) thermodurcissable
material termoplast	thermoplastic	matière (*f*) thermoplastique
policondensare	polycondensation	polycondensation (*f*)
polimerizare	polymerization	polymérisation (*f*)
poliadiţie	polyaddition	polyaddition (*f*)
fenoplastă	phenoplast	phénoplaste (*m*)
aminoplast	aminoplast	aminoplaste (*m*)
silicon	silicone	silicone (*f*)
poliester	polyester	polyester (*m*)
poliamidă	polyamide	polyamide (*m*)
nailon	nylon	nylon (*m*)

policarbonat	polycarbonate	polycarbonate (*m*)
policlorură de vinil	polyvinyl chloride	polychlorure (*m*) de vinyle
polistiren	polystyrene	polystirène (*m*)
poliacrilat	polyacrylate	polyacrylate (*m*)
polietilenă	polyethylene	polyéthylène (*m*)
polipropilenă	polypropylene	polypropylène (*m*)
răşină epoxidică	epoxyde resin	résine (*f*) époxydique
poliuretan	polyurethane	polyuréthane (*m*)
presare	press moulding	pressage (*m*)
turnare sub presiune	injection moulding	injection (*f*)
extrudare	extrusion	extrusion (*f*)
calandrare	calendering	calandrage (*m*)
filare	spinning	filage (*m*)
expandare	expanding	expansion (*f*)
sudare	welding	soudage (*m*)
lipire	gluing	collage (*m*)
aşchiere	cutting	coupe (*f*)

PARTEA A TREIA

MATERIALE CERAMICE

8

STRUCTURA ŞI PROPRIETĂȚILE MATERIALELOR CERAMICE

8.1. Generalități

Materialele ceramice constituie a treia grupă de materiale utilizate în tehnică, după cele metalice şi plastice. Ele sunt materiale anorganice cu legături atomice şi ionice, a căror structură complexă cristalină se obține prin sinterizare.

Cuvântul *ceramică* vine din limba greacă (*keramicos* = argilă arsă), iar activitatea omului legată de olărit şi producerea cărămizilor îşi are originea în preistorie. De-a lungul timpului, se disting trei etape ale dezvoltării ceramicii:

- *ceramica utilitară* este legată de olărit şi a apărut înainte de folosirea metalelor, vasele şi cărămizile fiind primele produse obținute de om prin arderea argilei;
- *ceramica de artă* a derivat din precedenta, îndepărtându-se de funcția utilitară şi centrându-se pe valoarea decorativă şi estetică;
- *ceramica industrială* a apărut după anul 1950, ca urmare a dezvoltării industriilor de vârf, care utilizează materiale pe bază de oxizi, carburi, nitruri, boruri şi diverse forme de carbon.

Se consideră ca fiind materiale ceramice şi sticla, betonul şi grafitul, deoarece folosesc procedee specifice ceramicii, precum şi materialele refractare care se obțin la temperaturi înalte şi se utilizează la căptuşirea furnalelor şi cuptoarelor metalurgice.

8.2. Structura materialelor ceramice

În componența materialelor ceramice intră:

- *materialele plastice* (argilă, caolin, bentonită, lut, loess) constituie partea principală din care se fabrică produsele ceramice tradiționale şi au rol de liant, legând alte componente neplastice;
- *degresanții* (nisip, şamotă) reduc contracția la uscare şi la ardere şi contribuie la creşterea porozității produselor;
- *fondanții* (feldspat, calcar, marmură, cretă) contribuie la coborârea temperaturii de vitrifiere a materiilor prime solide, atunci când ceramica se obține prin topire;

- *materialele refractare* (alumină, magnezit, dolomită, cromit, carburi, nitruri, boruri) rezistă la temperaturi ridicate, fără a se topi şi fără a se înmuia;

- *lubrifianţii* (motorină, petrol, uleiuri vegetale, parafină, lignină) se adaugă în cantităţi reduse produselor ce urmează a se fasona prin presare, facilitând prelucrarea şi extragerea semifabricatelor din matriţe;

- *materialele porifere* (rumeguş, praf de cărbune, mangal, turbă) se descompun în timpul arderii şi contribuie, prin golurile formate, la creşterea porozităţii produselor.

Elementele chimice care intră în componenţa materialelor ceramice sunt unite prin legături electrovalente şi covalente

Legătura electrovalentă (*ionică, heteropolară*) se caracterizează printr-o aşezare alternantă a ionilor pozitivi şi negativi în reţelele Bravais, astfel încât forţele electrostatice de atracţie să fie maxime, iar cele de respingere, minime, un exemplu tipic fiind clorura de sodiu (fig.8.1.a).

Neavând electroni liberi, materialele ceramice cu legături ionice sunt rele conducătoare de căldură şi electricitate, fiind adesea folosite ca izolatoare termice şi electrice. Forţele de legătură ionică determină duritate, fragilitate şi lipsă de plasticitate. Supuse la solicitări, cristalele ionice se rup prin clivaj, fără ca în prealabil să se deformeze plastic.

Legătura covalentă (*homeopolară*) se bazează pe punerea în comun a câte unui electron de valenţă, între doi atomi vecini de aceeaşi natură, în scopul realizării unei configuraţii electronice exterioare stabile (fig.8.1.b).

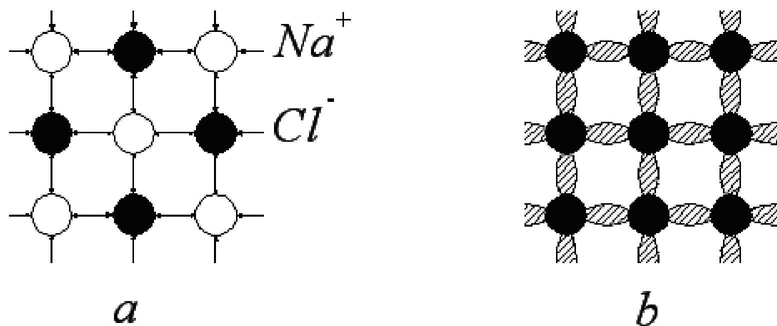


Fig.8.1. Tipuri de legături atomice.

Asemenea legături se întâlnesc la moleculele gazelor (H_2, Cl_2, N_2, O_2), dar şi la cristalele de diamant şi bor. Cristalele cu legături covalente se caracterizează prin duritate, fragilitate, punct de topire ridicat şi conductibilitate electrică scăzută.

Legăturile ionice şi covalente conduc la o structură cristalină a materialelor ceramice, formând reţele tridimensionale care se repetă. Există însă şi materiale ceramice care nu prezintă o structură periodică repetabilă, fiind amorfe. Din această categorie face parte sticla.

8.3. Proprietăţile materialelor ceramice

a) – Proprietăţile fizice caracterizează natura materialelor ceramice, cele mai importante fiind:

- *densitatea* este mai mică cu circa 50% decât cea a metalelor;
- *temperatura de topire* este ridicată, de multe ori depăşind-o pe cea a materialelor metalice refractare; unele materiale ceramice se topesc la peste 3000°C (grafit – 3650 °C; fibre de carbon – 3650 °C; diamant 3500 °C; carbură de zirconiu –3540°C; carbură de titan – 3100 °C);
- *coeficientul de dilatare liniară* este mai mic decât la metale;
- *conductibilitatea termică* este mai scăzută decât la metale;
- *conductibilitatea electrică* este scăzută întrucât legăturile ionice şi covalente implică toţi electronii de valenţă, nemairămânând electroni liberi care să transporte sarcinile electrice. În anumite condiţii, ceramicele pot fi utilizate ca materiale semiconductoare la fabricarea termistorilor (semiconductori a căror rezistenţă variază puternic cu temperatura) şi varistoarelor (dispozitive rezistoare a căror rezistenţă depinde de valoarea tensiunii aplicate la borne). În acelaşi timp, se fac cercetări privind supraconductibilitatea curentului electric la temperaturi obişnuite, folosind materiale ceramice sinterizate (amestecuri de oxizi de bariu sau stronţiu, cu lantan sau yterbiu şi cupru), ceea ce ar revoluţiona industria energetică;
- *proprietăţile magnetice* ale unor ceramice au condus la obţinerea feritelor (materiale magnetice care conţin oxizi de Fe, Ni, Zn, Cu şi Cd, au permeabilitate magnetică mare şi conductibilitate electrică redusă şi se utilizează în electrotehnică, telecomunicaţii şi electronică) şi a cristalelor piezoelectrice.

b) – Proprietăţile chimice arată modul de comportare a materialelor ceramice la acţiunea agenţilor atmosferici şi chimici, precum şi la temperaturi ridicate, acestea fiind:

- *rezistenţa la coroziune* este foarte mare datorită faptului că legăturile ionice şi covalente sunt puternice şi stabile. Ceramicele rezistă foarte bine atât la acţiunea mediului înconjurător, cât şi la acţiunea agenţilor chimici;
- *refractaritatea* este, în general, foarte bună, iar pentru materialele ceramice refractare cu care se căptuşesc furnalele şi cuptoarele metalurgice, excepţională. Cărămizile refractare îşi menţin proprietăţile tehnologice cel puţin până la 1500 °C.

Pe lângă refractaritatea foarte bună, materialele ceramice posedă şi proprietatea de excepţie de a-şi păstra rezistenţa mecanică şi la temperaturi foarte ridicate, spre deosebire de metale (fig.8.2).

c) – Proprietăţile mecanice diferă foarte mult faţă de cele ale metalelor, astfel:

- *rezistenţa de rupere la tracţiune* este scăzută, ceramicele rupându-se fără deformare plastică, spre deosebire de metale (fig.8.3). Acest lucru se datorează porilor microscopici şi altor imperfecţiuni structurale. Ca urmare, şi *modulul de elasticitate longitudinal* este mic; în schimb, *rezistenţa de rupere la compresiune* este destul de bună;

Tabelul 8.1. **Proprietățile fizice şi mecanice ale unor materiale ceramice**

Natura ceramicii	Denumirea / Puritatea [%]	Formula chimică	Proprietăți fizice								Proprietăți mecanice				
			Culoarea	Densitatea [g/cm^3]	Temperatura de topire [^oC]	Temperatura maximă de utilizare [^oC]	Coeficientul de dilatare liniară [10^{-6}/K]	Conductibilitatea termică la 20^oC [W/m·K]	Capacitatea termică masică la 100^oC [J/kg·K]	Structura cristalină	Duritatea [GPa]	Modulul lui Young [GPa]	Tenacitatea [MPa·m$^{1/2}$]	Rezistența la tracțiune [MPa]	Rezistența la compresiune [MPa]
Oxizi	Alumină / 92%	Al_2O_3	Albă	3,6	2000	1400	7,5	17	950	Hexagonală	14	270	3,7	120	1500
	Alumină / 96%	Al_2O_3	Albă	3,7	2000	1450	7,4	18	950	Hexagonală	17	250	3,9	160	1500
	Alumină / 99,7%	Al_2O_3	Albă	3,9	2050	1600	7,6	25	950	Hexagonală	18	310	4,1	180	1800
	Alumină / 99,8%	Al_2O_3	Albă	3,96	2050	1600	7,5	25	950	Hexagonală	20	320	4,2	190	1800
	Oxid de zirconiu/ 95%	ZrO_2	Gri-închis	6,04	2760	900	9,5	3,0	720	Cubică	12	205	11	700	4000
	Oxid de zirconiu/ 96%	ZrO_2	Galbenă	5,6	2760	900	9,0	1,9	680	Cubică	11	200	8,5	360	3500
	Oxid de zirconiu/ 97%	ZrO_2	Crem	6,0	2700	800	9,5	2,9	720	Cubică	12	205	9,0	540	6000
Carburi	Carbură de siliciu/ 98,5%	SiC	Neagră	3,15	2700	1450	4,4	110	900	Hexagonală	24	420	3,5	250	2100
	Carbură de siliciu/ 99%	SiC	Neagră	3,21	2700	1450	4,5	145	900	Hexagonală	30	450	4,4	450	1700
	Carbură de siliciu/ 99,9%	SiC	Neagră	3,05	2700	1400	4,8	200	800	Hexagonală	16	390	3,0	180	2500
Nitruri	Nitrură de siliciu/ 85%	Si_3N_4	Gri	3,15	1875	1200	3,1	20	720	Hexagonală	18	280	5,4	430	1900
	Nitrură de siliciu/ 95%	Si_3N_4	Gri	3,15	1875	1200	3,1	19	830	Hexagonală	16	290	5,2	270	1500
	Nitrură de siliciu/ 97%	Si_3N_4	Gri	3,18	1875	1200	3,0	25	830	Hexagonală	16	320	5,6	450	2500
	Nitrură de siliciu/ 99%	Si_3N_4	Gri	2,5	1875	1200	2,8	18	700	Hexagonală	5,2	160	2,5	120	600

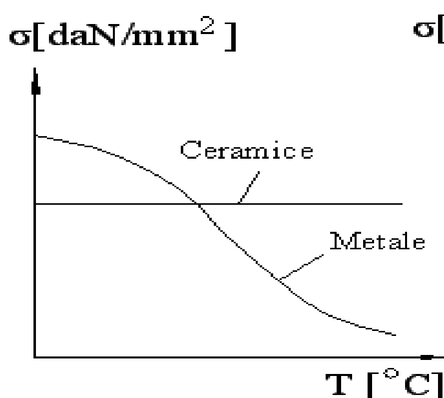


Fig.8.2. Variaţia rezistenţei mecanice cu temperatura.

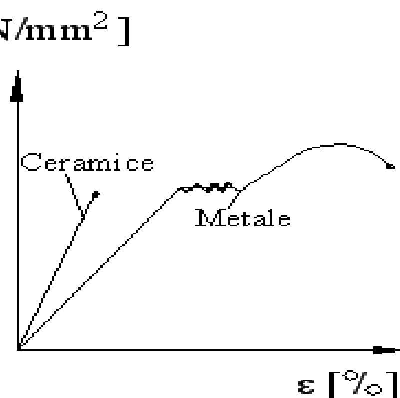


Fig.8.3. Curba caracteristică la tracţiune.

- *elasticitatea, plasticitatea* şi *tenacitatea* sunt foarte scăzute;
- *rigiditatea* este mare datorită legăturilor atomice puternice;
- *fragilitatea* este ridicată, ceramicele distrugându-se fără deformare plastică. Când se apropie de temperatura de topire, fragilitatea scade;
- *duritatea* şi *rezistenţa la uzură* sunt foarte mari atât la temperatura ambiantă, cât şi la temperaturi ridicate, ceea ce permite utilizarea lor la prelucrări prin aşchiere sau protecţii tribologice.

d) – Proprietăţile tehnologice ale materialelor ceramice se deosebesc total de cele ale materialelor metalice şi plastice, având în vedere procedeele lor de prelucrare în piese. Ele se obţin din materii prime naturale anorganice (ceramica utilitară şi de artă) sau din materii prime sintetice (ceramica industrială).

În tabelul 8.1. sunt prezentate proprietăţile principalelor materiale ceramice.

9

TIPURI DE MATERIALE CERAMICE

9.1. Clasificarea materialelor ceramice

Până prin anii 1950, materialele ceramice erau reprezentate de ceramica utilitară şi de cea de artă, principalele produse fiind cărămizile, ţiglele, faianţa, porţelanul, precum şi cimentul, betonul şi sticla. Începând cu anii 1950, apar noi materiale ceramice, numite *industriale*, cu aplicaţii diverse în noile domenii. Astfel, în 1953, miezurile de ferită se utilizează în construcţia calculatoarelor, iar din 1965, bioceramicele se folosesc ca implanturi osoase. În anii 1980 se descoperă ceramicele pe bază de nitrură de siliciu, precum şi cele pentru fabricarea semiconductoarelor şi supraconductoarelor, iar la sfârşitul anilor 1980, ceramicele compozite.

Clasificarea materialelor ceramice se face conform schemei din fig.9.1.

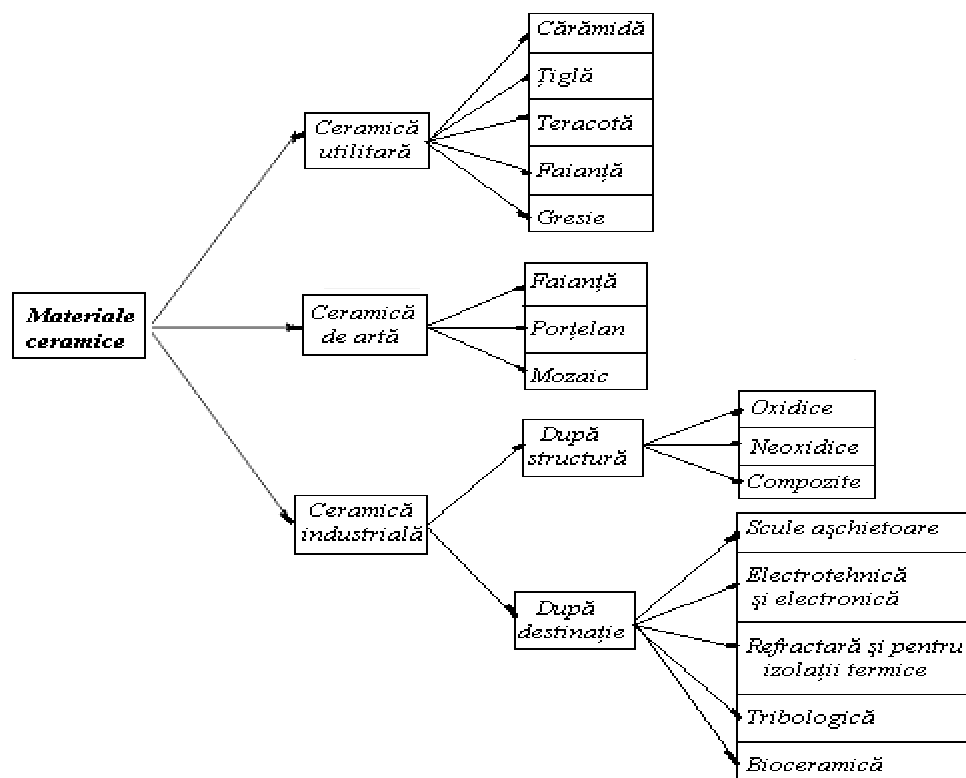


Fig.9.1. Clasificarea materialelor ceramice.

9.2. Ceramica utilitară

Istoria dezvoltării industriei ceramice începe din timpurile străvechi. Încă din preistorie, oamenii au învățat să-şi confecționeze din argilă plastică vase de forme diferite şi să obțină prin arderea lor o veselă rezistentă la apă şi la foc. Mai târziu, apar cărămizile şi alte materiale de construcție.

a) – Cărămida este un material de construcție de formă prismatică, obținut din argilă, nisip şi apă prin presare, fasonare, uscare şi ardere la 900..1000 ^oC. Cărămizile pot fi pline sau cu goluri interioare (blocuri ceramice). Există şi cărămizi pentru placări, de dimensiuni mai mici, colorate sau smălțuite şi utilizate la finisarea pereților, prin aplicare pe mortar.

b) – Țigla este un material pentru învelitori ieftin, durabil şi ignifug care se obține din argilă arsă, sticlă sau beton special. Ea se fabrică prin tragere (țiglă – solz) sau prin presare (țiglă cu jgheab).

Tot ca materiale pentru învelitori se folosesc *olanele* şi *coamele*. Olanele au forma unor jumătăți de con care se îmbină cu mortar de ciment, prin suprapunerea capetelor, iar coamele sunt destinate închiderii muchiilor acoperişurilor.

c) – Teracota este materialul din care se confecționează cahlele pentru sobe, acoperite pe partea aparentă cu smalț colorat şi prevăzute pe partea interioară cu nervuri speciale. Ca materii prime se utilizează argilă refractară, nisip cuarțos fin, marnă sau cretă şi apă. După fasonare, teracota se usucă, se arde la 950…1000^oC, se smălțuieşte şi se arde din nou, în cuptoare speciale.

Teracota este unul din cele mai vechi materiale ceramice folosite de om atât ca ceramică utilitară (olărit, urne funerare), cât şi ca ceramică de artă. În acest sens sunt celebre miile de statui din teracotă, în mărime naturală, ale armatei împăratului chinez Qin Shi Huang Di (259 - 210 î.Hr), descoperite în 1974, în mausoleul acestuia din provincia Hebei.

d) – Faianța este un produs ceramic clincherizat, nevitrifiat, cu cel puțin o față glazurată, obținut prin arderea unui amestec de argilă plastică şi nisip, sau amestec de caolin, feldspat şi cuarț. După prepararea amestecului, acesta este presat, pentru a obține o porozitate cât mai mică. Piesele sunt supuse apoi uscării, iar arderea se face în două etape, înainte şi după smălțuire. Arderea finală, după smălțuire, se face la 1000…1200 ^oC.

Faianța este albă sau colorată şi se utilizează la fabricarea plăcilor pentru finisarea pereților interiori, în încăperi cu umiditate ridicată, precum şi la obținerea unor obiecte sanitare sau decorative. Obiectele decorative (vaze, bomboniere, supiere) sunt ornamentate cu desene care se aplică pe emailul stanifer înainte de ardere (în culorile albastru de cobalt, brun-violet, roşu, verde sau galben) sau după ardere (în culori mai delicate – roz, auriu sau verde deschis). În Europa Occidentală şi în Japonia au fost realizate de-a lungul istoriei adevărate opere de artă din faianță.

e) – Gresia este un produs ceramic obținut din argilă plastică şi nisip cuarțos fin care se arde la 1200…1300 ^oC, având o porozitate de maximum 3%. Culoarea ei variază de la galben-pai la gri-deschis sau de la gri-închis la cafeniu-

închis, datorită arderii în atmosferă reducătoare, spre deosebire de culorile mai deschise ale ceramicelor arse în atmosferă oxidantă.

Cunoscută încă din antichitate, gresia se utilizează astăzi la placaje şi pardoseli, la fabricarea unor obiecte sanitare sau instrumente pentru laboratoarele chimice, precum şi la confecţionarea conductelor pentru asecări. Pentru această utilizare, este un material mai durabil decât fonta sau masele plastice, dar are dezavantajul că nu rezistă la presiuni mari.

9.3. Ceramica de artă

Ceramica de artă este aproape la fel de veche ca şi ceramica utilitară. Ea a derivat din aceasta, lăsând funcţia utilitară, pentru a se centra pe valoarea decorativă sau estetică.

Această categorie cuprinde faianţa (prezentată anterior), porţelanul şi mozaicul.

a) – Porţelanul este un produs ceramic vitrifiat, alb, translucid şi impermeabil la gaze şi lichide (porozitatea maximă este de 0,5%), obţinut dintr-un amestec fin de caolin, cuarţ, feldspat şi argilă plastică. Ca material tehnic, porţelanul are o serie de proprietăţi valoroase: rezistenţă mecanică şi electrică ridicate, stabilitate termică şi chimică foarte bune. Porţelanul de artă are posibilităţi ornamentale excepţionale. Toate aceste proprietăţi, reunite într-un material care se obţine din materii prime minerale ieftine şi foarte răspândite, au determinat folosirea foarte variată şi eficace a porţelanului atât în ceramica de artă, cât şi în ceramica industrială.

După îndelungi dezbateri, toţi specialiştii sunt de acord că porţelanul veritabil a apărut în China, în timpul dinastiei Han de Est (25 - 220 d.Hr). Acesta conţine 30…60% caolin şi 1,7% oxid de fier, are o porozitate de 0,6%, o absorbţie de 0,3%, este translucid până la grosimi de 5…8 mm şi rezistent la şocuri. L-au fabricat apoi japonezii şi coreenii, iar în Europa secretul fabricării lui a fost adus în 1712 de călugărul iezuit francez Père d'Entrecolles. De altfel, britanicii folosesc şi astăzi pentru denumirea porţelanului termenii *china* sau *bone china*. În Franţa este atât de apreciat, încât aniversarea a 20 de ani de la căsătorie este denumită *nuntă de porţelan*.

Produsele din porţelan se fasonează manual sau mecanizat şi se usucă. După uscare, urmează o ardere la 1000 ^{o}C, produsele fiind, în această fază, fragile şi poroase. Acestea se introduc apoi într-o soluţie apoasă de smalţ feldspatic şi se ard a doua oară la 1300…1400 ^{o}C. Urmează şlefuirea şi decorarea care este un proces complicat şi anevoios. Costul decorării porţelanului depăşeşte adeseori costul produsului alb finit. Decorarea se poate face şi înainte de aplicarea smalţului, dar în acest caz desenele nu se mai pot retuşa, iar culorile se estompează. De aceea, se preferă decorarea după smălţuire, fixarea desenelor pe produse realizându-se printr-o nouă ardere, la 600…900 ^{o}C.

b) – Mozaicul este un produs ceramic sub formă de plăcuţe colorate care se asamblează pe un suport de mortar, formând diferite figuri. Plăcuţele pot fi şi din roci şlefuite, sticlă colorată sau marmură şi se asamblează cu chit sau cu mortar.

De origine orientală (Egipt şi Persia), arta mozaicului a fost preluată de greci şi romani, pentru decorarea interioară a caselor şi a templelor. Sunt sugestive în acest sens siturile bine conservate ale oraşelor romane Pompei şi Herculaneum, acoperite cu lavă în urma catastrofalei erupții a Vezuviului din 24 august 79. Mozaicul a fost folosit şi în Evul Mediu, înflorind în Imperiul Bizantin şi în perioada Renaşterii şi este folosit şi în zilele noastre, Astfel, plafonul absidei Bazilicii Sacré-Coeur din Montmartre-Paris (construită la începutul secolului XX) este decorat cu cel mai mare mozaic din lume, acoperind o suprafață de 475m^2.

Tehnica realizării plăcuțelor ceramice pentru mozaic este aceeaşi, ca la produsele ceramice anterioare, plăcuțele fiind acoperite cu smalțuri divers colorate.

9.4. Ceramica industrială

9.4.1. Generalități

Ceramica industrială a apărut în secolul trecut ca urmare a dezvoltării unor tehnologii de vârf care au reclamat materiale cu proprietăți şi performanțe speciale (calculatoare, construcții aerospațiale, industria nucleară, bioingineria, industria de armament). Dintre *avantajele* acestor materiale se menționează: duritate şi rezistență mare la uzură; rezistență ridicată la coroziunea atmosferică şi a gazelor fierbinți; păstrarea proprietăților de rezistență la temperaturi ridicate; rezistență bună la compresiune; masă volumică mică; sursele de materii prime din care provin sunt practic nelimitate.

În acelaşi timp, folosirea lor este limitată de următoarele *dezavantaje*: fragilitate ridicată, îndeosebi la rece; variații relativ mari ale materialului; rezistență scăzută la tracțiune; cheltuieli suplimentare la producerea pulberilor şi a operațiilor de reprocesare.

După structură, ceramica industrială cuprinde trei categorii de materiale:

a) – Materialele ceramice oxidice sunt materiale policristaline formate din oxizi sau compuşi oxidici. Datorită legăturilor chimice puternice, aceste materiale sunt foarte stabile, având duritate şi rezistență la compresiune mari, precum şi o bună rezistență la coroziune. Din această categorie fac parte Al_2O_3, ZrO_2, BeO, Fe_3O_4, MgO, UO_2, ZnO.

b) – Materialele ceramice neoxidice sunt materiale dure: carburi, nitruri, boruri şi siliciuri. Având legături covalente care le conferă temperaturi de topire înalte, module de elasticitate şi duritate mari, prezintă şi o înaltă rezistență la coroziune şi sunt bune conducătoare de căldură şi electricitate.

c) – Materialele ceramice compozite sunt combinații ale ceramicelor oxidice şi neoxidice, cu o foarte bună rezistență la oxidare şi care se fabrică prin procedee complexe.

În tabelul 9.1. sunt prezentate principalele materiale ceramice industriale, cu proprietățile şi utilizările lor.

Tabelul 9.1. **Principalele materiale ceramice industriale**

Natura	**Materialul**	**Formula chimică**	**Proprietăți**	**Domenii de utilizare**
0	**1**	**2**	**3**	**4**
Oxizi	Alumină (oxid de aluminiu)	Al_2O_3	- rezistență mecanică la temperaturi ridicate; - conductibilitate termică bună; - rezistivitate electrică mare; - duritate şi rezistență la uzură ridicate; - stabilitate chimică.	Izolatoare electrice, suporturi pentru elemente de încălzire, protecții termice, inele de etanşare, proteze dentare, piese pentru robinete.
	Oxid magnetic de fier	Fe_3O_4	- proprietăți magnetice	Transformatoare, bobine de inducție, stocarea magnetică a datelor.
	Magnezie (oxid de magneziu)	MgO	- refractaritate mare; - rezistență mecanică bună.	Zidării refractare, creuzete pentru laborator, teci pentru termocupluri.
	Pehblendă (oxid de uraniu)	UO_2	- proprietăți radioactive.	Combustibil în reactoarele nucleare.
	Zincit (oxid de zinc)	ZnO	- semiconductor.	Diode şi varistoare.
	Zirconă (oxid de zirconiu)	ZrO_2	- rezistență mecanică la temperaturi ridicate; - conductibilitate electrică la peste 1000 ^oC; - duritate şi rezistență la uzură ridicate; - stabilitate chimică.	Creuzete, elemente de încălzire pentru cuptoare, izolatoare termice, conductoare ionice, tehnică nucleară, fabricarea emailurilor, tehnică dentară.
Carburi	Carbură de bor	B_4C	- duritate foarte mare; - modul de elasticitate foarte mare; - densitate mică.	Construcții aerospațiale, blindaje pentru tancuri şi elicoptere militare.
	Carborund (carbură de siliciu)	SiC	- duritate mare; - rezistență la şocuri termice; - conductibilitatea electrică şi termică; - coeficient de dilatare termică redus; - stabilitate chimică.	Produse refractare, plăcuțe aşchietoare, garnituri de etanşare la pompele de apă, obținerea de materiale abrazive, repere în construcția de maşini.

Tabelul 9.1. (continuare)

Natura	**Materialul**	**Formula chimică**	**Proprietăți**	**Domenii de utilizare**
0	**1**	**2**	**3**	**4**
	Carbură de titan	TiC	- duritate şi rezistență la uzură mari; - rezistență la oxidare şi la coroziune.	Supape pentru motoare cu ardere internă, piese pentru cuptoare industriale şi de tratamente termic, turboreactoare, petrochimie.
	Carbură de wolfram	WC	- duritate şi rezistență la uzură mari; - rezistență la şocuri termice.	Plăcuțe dure pentru sculele aşchietoare, placări rezistente la uzură, industria de armament, filiere de trefilat
Nitruri	Nitrură de aluminiu	AlN	- duritate mare; - rezistență la temperatură şi la şoc termic; - conductibilitate termică bună; - rezistență electrică ridicată.	Creuzete, căptuşirea cuptoarelor cu atmosferă reducătoare, conducte termice, material abraziv, circuite imprimate.
	Nitrură de bor	BN	- conductibilitate termică înaltă; - rezistență la şocuri termice; - dilatare termică slabă; - rezistență electrică ridicată; - stabilitate chimică.	Izolatoare electrice pentru temperaturi înalte, creuzete, teci pentru termocupluri, suporturi pentru rezistențe electrice, lubrifiant la temperaturi mari, material refractar, plăcuțe pentru scule aşchietoare.
	Nitrură de siliciu	Si_3N_4	- duritate şi rezistență la uzură ridicate; - rezistență la şoc termic; - conductivitate termică ridicată; - stabilitate chimică.	Plăcuțe pentru scule aşchietoare, pulberi abrazive, bile de rulmenți, inele de etanşare pentru mori, supape de motoare, teci pentru termocupluri, palete de turbine.
	Nitrură de titan	TiN	- conductivitatea termică bună; - duritate mare; - stabilitate chimică.	Material dur refractar, creuzete, depunere sub formă de vapori pe scu-lele aşchietoare, cerami-că semiconductaore.

Tabelul 9.1. (continuare)

Natura	Materialul	Formula chimică	Proprietăţi	Domenii de utilizare
0	**1**	**2**	**3**	**4**
Boruri	Borură de crom	CrB_2	- conductivitate termică bună; - duritate mare; - rezistenţă la oxidare bună.	Schimbătoare de căldură în reactoarele nucleare, rezistoare, semiconductoare.
	Borură de titan	TiB_2	- duritate mare; - rezistenţă mecanică ridicată; - conductivitate electrică bună.	Placarea cuvelor pentru electroliza aluminei, blindarea aparatelor de luptă, pulberi refractare, duze de rachete, creuzete.
	Borură de zirconiu	ZrB_2	- rezistenţă la oxidare bună; - rezistenţă la acţiunea metalelor topite; - duritate mare.	Absorbant de electroni în reactoarele nucleare, pulberi refractare, teci pentru termocupluri, duze de rachete, creuzete
Siliciuri	Siliciură de molibden	$MoSi_2$	- conductivităţi termică şi electrică bune; - stabilitate chimică; - rezistenţă la oxidare.	Electrotermie, căptuşirea cuptoarelor cu inducţie, duze pentru rachete, placări antioxidante.
	Siliciură de zirconiu	$ZrSi_2$	- duritate mare; - rezistenţă la oxidare; - conductivitate electrică bună.	Creuzete pentru reacţii chimice la temperaturi ridicate, construcţii aerospaţiale.

9.4.2. Ceramice pentru sculele aşchietoare

Materialele ceramice se utilizează atât la fabricarea unor scule abrazive (corpuri abrazive, pânze şi hârtii abrazive, lichide şi paste abrazive), cât şi a plăcuţelor dure cu care se armează unele scule aşchietoare (cuţite, freze, burghie). Aceste materiale trebuie să fie dure şi să aibă stabilitate termică, adică să nu-şi piardă proprietăţile de aşchiere după încălziri şi răciri repetate.

Sculele abrazive sunt constituite din granule abrazive încorporate în masa unui liant. Materialele abrazive pot fi naturale (cuarţ, corindon, şmirghel, diamant) sau sintetice (electrocorindon, carbură de siliciu, carbură de bor, diamant artificial). Lianţii trebuie să asigure rezistenţa mecanică a corpului abraziv şi să reziste şocurilor termice şi acţiunii lichidelor de răcire. Ei pot fi anorganici (amestec de argilă, feldspat, cuarţ şi caolin ars la 1200…1300 ^{o}C, silicaţi fluizi care se întăresc

la 200 ^oC, oxiclorură de magneziu) sau organici (şelac, bachelită, cauciuc natural sau sintetic).

Plăcuţele dure cu care se armează unele scule aşchietoare se obţin prin sinterizare din carburi metalice, materiale mineralo-ceramice, nitrură cubică de bor sau diamant.

a) - Carburile metalice sinterizate sunt materiale dure şi refractare care conţin wolfram, titan şi tantal, iar ca liant, cobaltul. Ele se caracterizează printr-o duritate foarte mare, stabilitate termică foarte bună (900…1000 ^oC) şi rezistenţă la compresiune mare, dar, în acelaşi timp, sunt fragile (Rm = 50…100 daN/mm^2, KCU = 0,1 daJ/cm^2) şi ca urmare nu se pot folosi când există sarcini variabile mari, vibraţii şi îndeosebi şocuri.

În afară de carburile metalice obişnuite, în ultimul timp se produc şi se folosesc din ce în ce mai des plăcuţe din carburi metalice acoperite cu straturi superdure simple sau multiple, cât mai stabile la temperaturi înalte. Aceste straturi au grosimi de 4…10 μm şi sunt alcătuite din carburi de titan, azot, wolfram şi Al_2O_3, conducând la creşterea rezistenţelor la uzură şi oxidare, la îmbunătăţirea calităţii suprafeţelor prelucrate şi la lipsa depunerilor pe tăiş.

b) – Materialele mineralo-ceramice au apărut relativ recent şi se obţin prin sinterizarea Al_2O_3, combinat cu alţi oxizi alcalino-pământoşi (ZrO_2). Plăcuţele mineralo-ceramice sunt superioare celor din carburi metalice atât în ceea ce priveşte duritatea şi rezistenţa la uzură, cât şi stabilitatea termică (1100…1200 ^oC), având şi un preţ de cost mai scăzut, întrucât nu conţin elemente de aliere. În acelaşi timp, au rezistenţă la rupere mică (Rm = 7,5 daN/mm^2) şi sunt foarte fragile (KCU = 0,08 daJ/cm^2), utilizându-se numai la finisarea metalelor feroase şi aşchierea materialelor plastice, fără şocuri şi vibraţii.

Prin adăugarea unor cantităţi mici de carburi de titan, siliciu şi molibden, îşi măresc rezilienţa, refractaritatea şi rezistenţa mecanică. Cu siguranţă, sunt materialele aşchietoare ale viitorului.

c) – Nitrura cubică de bor este o formă alotropică sintetică a nitrurii de bor care cristalizează în sistem hexagonal. Proprietăţile sale le egalează sau chiar le depăşesc pe cele ale diamantului, mai ales în ceea ce priveşte rezistenţa la şocuri termice şi stabilitatea termică.

Plăcuţele sinterizate din nitrură cubică de bor se utilizează la aşchierea oţelurilor şi fontelor de mare duritate, precum şi a unor materiale neferoase şi nemetalice.

d) – Diamantul este materialul cu cea mai mare duritate, având şi o rezistenţă la uzură excepţională. Are o stabilitate termică foarte ridicată (1600…1800 ^oC), păstrându-şi proprietăţile de aşchiere la cele mai ridicate viteze de aşchiere practic posibile. Prin şlefuire i se asigură un tăiş foarte fin, astfel încât calitatea suprafeţelor prelucrate este foarte bună şi după prelucrarea cu o sculă cu diamant nu mai este necesară o finisare ulterioară.

În acelaşi timp, este foarte fragil, astfel că nu se poate folosi decât la prelucrările de finisare, lucrându-se cu avansuri şi adâncimi de aşchiere mici şi cu viteze de aşchiere mari. Nu se recomandă utilizarea diamantului la aşchierea metalelor feroase, întrucât fiind carbon pur, el are mare afinitate faţă de anumite

metale (Fe, Cr, Mo, V, W), cu care se combină prin difuziune, formând carburi care se uzează prematur.

Pentru aşchiere se foloseşte diamantul natural cu impurităţi care nu se poate utiliza pentru bijuterii, precum şi diamantul sintetic, ambele varietăţi fiind cele mai scumpe materiale pentru confecţionarea sculelor aşchietoare. El se foloseşte sub formă de monocristal, policristal sau pulbere. Cu astfel de scule se pot prelucra aliaje de Al şi Mg, aliaje antifricţiune, Cu, Ag, Pt, Au, Ni, ebonită, hârtie, lână comprimată etc.

Unitatea de măsură a diamantului este *caratul* (1 carat = 0,2 grame).

9.4.3. Ceramice pentru electrotehnică şi electronică

Legăturile ionice şi covalente ale materialelor ceramice implică toţi electronii de valenţă ai elementelor chimice componente. Neavând electroni liberi, materialele ceramice sunt, în general, rele conducătoare de electricitate. În cazul existenţei unor impurităţi, anumiţi ioni se pot deplasa, sub influenţa câmpurilor electrice, astfel că aceste materiale sunt semiconductoare. Alte materiale ceramice au proprietăţi piezoelectrice, feromagnetice sau chiar supraconductoare.

a) – Izolatoarele ceramice nu conţin electroni liberi care să permită circulaţia curentului electric şi se utilizează în construcţia bujiilor motoarelor cu aprindere prin scânteie şi , mai ales, la liniile pentru transportul energiei electrice, de la joasă până la înaltă tensiune.

Istoria acestor izolatoare începe pe la mijlocul anilor 1840, în Anglia, ele fiind confecţionate din sticlă şi utilizate la liniile telegrafice. În 1865, Louis A. Cauvet brevetează, în SUA, un izolator de sticlă, cu gaură filetată. Aceste izolatoare s-au utilizat până pe la începutul anilor 1970, când au fost înlocuite cu izolatoare de porţelan, mult mai rezistente mecanic, confecţionate din argilă, cuarţ, alumină şi feldspat. Acestea au porozitate foarte mică şi o rigiditate dielectrică de 4…10 KV/mm, fiind protejate cu o glazură sticloasă.

Izolatoarele ceramice se mai utilizează la construcţia antenelor de emisie radio care sunt alimentate cu tensiuni înalte şi trebuie izolate faţă de pământ. Acestea se confecţionează din steatit, o varietate de talc de culoare albă, cu rezistenţă la rupere mare şi pierderi dielectrice foarte scăzute (Mg_2SiO_4).

b) – Condensatoarele ceramice sunt construite din straturi alternative de metal şi ceramică, ultima constituind materialul dielectric. Acesta trebuie să aibă permitivitate electrică mare pentru a putea înmagazina cât mai multă energie într-un volum mic, un factor de disipare foarte mic şi o rigiditate electrică ridicată. În acest sens se folosesc *perovskitele*: titanat de bariu ($BaTiO_3$), titanat de calciu ($CaTiO_3$), titanat de stronţiu ($SrTiO_3$), titanat dublu de plumb şi stronţiu [$(PbSr)TiO_3$] şi titanat zirconat de plumb [$Pb(Zr_{0,5}Ti_{0,5})O_3$].

Condensatoarele ceramice au apărut în perioada 1930-1950 şi s-au folosit în construcţia aparatelor de radio, înainte de apariţia tranzistoarelor. Astăzi se utilizează în echipamentele electronice de înaltă capacitate, datorită preţului scăzut, precum şi în construcţia ecografelor medicale, a camerelor de filmat în infraroşu şi a sonarelor.

Condensatoarele ceramice se mai numesc *condensatoare feroelectrice*, noțiunea de *feroelectricitate* fiind introdusă în 1921 de către fizicianul american Joseph Valasek de la Universitatea din Minnesota. Termenul a fost utilizat prin analogie cu *feromagnetismul*, prefixul *fero* neavând nici o legătură cu fierul care nu intră în componența ceramicii feroelectrice.

c) – Ceramica piezoelectrică se caracterizează prin proprietatea de generare a unui impuls electric sub acțiunea unei deformări mecanice (efect piezoelectric direct) sau de a se deforma sub acțiunea unui câmp electric exterior (efect piezoelectric invers).

Efectul piezoelectric direct a fost descoperit în 1880 de Pierre Curie[1], iar efectul piezoelectric invers, de Gabriel Lippman[2], în 1881. Fenomenul a rămas o curiozitate de laborator până în 1917, când Paul Langevin[3] a inventat un detector ultrasonic pentru submarine, alcătuit din cristale de cuarț lipite între două plăci de oțel şi un hidrofon pentru detectarea ecoului. Ceramica piezoelectrică a fost folosită apoi în radioaviație şi televiziune. Astăzi se foloseşte în ceasornicărie, la construcția captoarelor (aparate electrice sau electromagnetice pentru transformarea semnalelor sonore sau optice în semnale electrice), motoarelor piezoelectrice, microscoapelor cu efect de tunel şi imprimantelor cu jet de cerneală.

Într-un cristal piezoelectric, sarcinile electrice pozitive şi negative sunt separate simetric, astfel că sarcina electrică totală a cristalului este neutră. Dacă asupra cristalului acționează o sarcină mecanică exterioară, simetria sarcinilor electrice este perturbată, generând un impuls electric. De exemplu, dacă asupra unui cristal de cuarț de 1 cm^3 acționează o forță de 2 kN, se produce o tensiune de 12.500 V. În acelaşi timp, dacă asupra cristalului piezoelectric se aplică un câmp electric exterior, cristalul se va deforma mecanic.

Ca materiale ceramice piezoelectrice se utilizează: berlinita ($AlPO_4$), titanatul de bariu ($BaTiO_3$), titanatul de plumb ($PbTiO_3$), titanatul zirconat de plumb [$Pb(Zr_{0,5}Ti_{0,5})O_3$], niobatul de potasiu ($KNbO_3$), niobatul de litiu ($LiNbO_3$), tantalatul de litiu ($LiTaO_3$), topazul şi, bineînțeles, cuarțul.

d) – Ceramica feromagnetică este reprezentată de *ferite* care sunt compuşi ai unor metale bivalente cu oxizi de fier, având proprietăți magnetice superioare şi o conductibilitate electrică redusă. Feritele sunt, ca majoritatea materialelor cerami-

---

[1]*Pierre CURIE* (1859-1906) – fizician şi chimist francez, profesor la Sorbona. A descoperit efectul piezoelectric direct (1880), utilizând cristale de turmalină, cuarț şi topaz şi a avut contribuții în domeniile magnetismului şi radioactivității. De asemenea, a enunțat legile simetriei cristalelor (1894) şi a descoperit şi izolat radiul şi poloniul (împreună cu soția sa, Maria Skłodowska-Curie). A fost distins cu Premiul Nobel pentru fizică (1903).

[2]*Gabriel-Jonas LIPPMAN* (1845-1921) – fizician francez, profesor la Sorbona. Cercetări în electrocapilaritate (electrometrul capilar – 1873), piezoelectricitate, termodinamică şi optică. A descoperit un procedeu de fotografiere în culori bazat pe fenomenul de interferență a luminii (1891), obținând prima fotografie colorată a spectrului solar. A fost membru de onoare al Academiei Române (1906) şi a obținut Premiul Nobel pentru fizică (1908).

[3]*Paul LANGEVIN* (1872-1946) – fizician francez, profesor la Collège de France. Contribuții în magnetism, în teoria cinetico-moleculară, a relativității, în studiul razelor *X* şi ionizarea gazelor. A fost primul care a utilizat ultrasunetele pentru semnalizarea subacvatică şi detectarea submarinelor (1916) şi a elaborat metoda de obținere a ultrasunetelor cu ajutorul cuarțului piezoelectric (1917).

ce, dure şi fragile. Ele au o masă volumică de circa trei ori mai mică decât a magneților metalici tradiționali, ceea ce constituie un avantaj major la fabricarea echipamentelor portabile sau aerospațiale. Ținând cont de proprietățile magnetice, feritele pot fi moi sau dure.

Feritele moi au pierderi foarte mici prin histerezis magnetic şi prin curenți Foucault[4]. Ca urmare, se utilizează în construcția antenelor de recepție, a transformatoarelor de impuls sau de putere, la fabricarea capetelor de înregistrare magnetică şi a memoriilor calculatoarelor, precum şi a radarelor.

După structură, există două tipuri de ferite moi:

- *spinelii* au formula generală AB_2O_4, unde *A* este un metal din grupa II A, iar *B*, un metal din grupa III A. Ei se obțin din magnetit (Fe_3O_4) prin înlocuirea atomilor de fier cu atomii altor elemente (Ni, Mn, Zn, Mg, Li): $MgZnFe_2O_4$, $MnZnFeO_4$, $NiZnFe_2O_4$, $Li_{0,5}Fe_{2,5}O_4$;

- *grenatele* au formula generală $R_3Fe_5O_{12}$, unde *R* este un lantanid (pământ rar): grenatul de fier şi ytriu ($Y_3Fe_5O_{12}$), grenatul de galiu şi gadoliniu [$Gd_3Ga_2(GaO_4)_3$].

Feritele dure au o permeabilitate magnetică ridicată şi se utilizează la fabricarea magneților permanenți şi la construcția minimotoarelor electrice, a aparatelor de radio şi a incintelor acustice. Ele se obțin din carbonați de bariu şi de stronțiu ($BaCO_3$, $SrCO_3$).

Din categoria ceramicii feromagnetice, pe lângă ferite, mai fac parte unele lantanide (pământuri rare), din care se confecționează magneți. Câmpul magnetic al acestora depăşeşte 1200 mT față de 50…100 mT, în cazul magneților confecționați din ferită. În acelaşi timp, magneții fabricați din pământuri rare sunt foarte fragili, astfel că trebuie să fie protejați cu un strat de nichel. Pentru confecționarea magneților se utilizează aliaje de neodim (Nd) şi samariu (Sm): $Nd_2Fe_{14}B$ şi $SmCo_5$.

e) – Ceramica semiconductoare prezintă o conductibilitate electrică intermediară între metale şi izolatoare şi se utilizează la fabricarea termistorilor şi varistoarelor.

Termistorul este un dispozitiv semiconductor a cărui rezistență variază proporțional cu temperatura. Există termistoare pentru temperaturi pozitive, a căror rezistență creşte cu temperatura şi termistoare pentru temperaturi negative, a căror re-

---

[4] *Jean-Bernard-Léon FOUCAULT* (1819-1868) – fizician francez, cu contribuții în optică, mecanică şi electricitate. A determinat viteza luminii folosind un sistem de oglinzi (1850), a demonstrat mişcarea de rotație a Pământului cu ajutorul pendulului care-i poartă numele (1851), a inventat giroscopul (1852) şi a descoperit (1855) curenții de inducție turbionari care apar în corpurile feromagnetice aflate într-un câmp electromagnetic variabil, numiți *curenți Foucault*.

[5] *Michael FARADAY* (1791-1867) – fizician şi chimist englez, unul din fondatorii electromagnetismului. A descoperit fenomenul inducției electromagnetice (1831), paramagnetismul şi diamagnetismul (1845). A avut contribuții în electrostatică şi la studiul luminii polarizate şi a formulat legile cantitative ale electrolizei *(legile lui Faraday)*, a introdus noțiunile de ion, catod, electrod, echivalent electrochimic *(numărul lui Faraday)*, a reuşit lichefierea aproape a tuturor gazelor cunoscute în epoca sa şi a descoperit benzenul (1825). A enunțat legea conservării sarcinilor electrice (1843), a elaborat teoria electrizării prin influență şi principiul ecranului electrostatic *(cuşca Faraday)* şi a inventat dinamul.

zistență scade cu temperatura. Ele acoperă o gamă largă de temperaturi (minus 273,14…+1700 ^{o}C).

Primul termistor a fost descoperit în 1833 de M.Faraday[5] care a semnalat proprietatea semiconductoare a sulfurii de argint, fenomenul rămânând şi în acest caz o curiozitate de laborator până în 1930, când Samuel Ruben[6] a brevetat acest dispozitiv care se utilizează pentru protecția transformatoarelor şi motoarelor electrice la supraîncălzire, precum şi pentru controlul temperaturii uleiului şi lichidului de răcire la motoarele cu ardere internă.

Termistorii ceramici sunt indicați în cazul temperaturilor ridicate, de peste 1000 ^{o}C, ei fiind de fapt singura soluție pentru astfel de situații şi se confecționează din nitrură de bor (BN), nitrură de galiu (GaN), arseniură de galiu (GaAs), fosfoarseniură de galiu (GaAsP) sau fosfură de indiu (InP).

Varistorul este un dispozitiv semiconductor a cărui rezistență electrică scade rapid cu creşterea curentului electric, această proprietate fiind aplicată la protecția stațiilor electrice contra descărcărilor atmosferice (fulgere şi trăsnete). Timpul de răspuns este foarte scurt (1 nonasecundă), iar protecția este asigurată până la intensități ale curentului de 70.000 de amperi. Varistoarele se mai folosesc la protejarea circuitelor calculatoarelor şi a altor aparate sensibile, precum şi a liniilor telefonice.

Varistoarele s-au construit inițial din carbură de siliciu (SiC), pentru ca astăzi să fie fabricate din oxid de zinc (ZnO), în amestec cu cantități mai mici de oxizi ai altor metale (Bi, Co, Mn). Grăunții de oxizi sunt fixați între două plăci metalice şi doi grăunți vecini formează o diodă care permite circulația curentului într-un singur sens.

f) – Ceramica supraconductoare a fost descoperită în 1986 de cercetătorii elvețieni Alex Müller şi Georg Bednorz care au fost răsplătiți cu Premiul Nobel pentru fizică, în 1987. Ei au descoperit un material ceramic cu formula chimică $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ care devenea supraconductor la temperatura de –233 ^{o}C.

Supraconductibilitatea este o stare a unor substanțe de a-şi pierde rezistența electrică la o anumită temperatură critică şi de a conduce curentul electric fără nici o pierdere. Această stare ar putea revoluționa industria energetică, întrucât firele supraconductoare nu numai că nu au pierderi de curent electric prin căldură, dar permit densități de curent de neimaginat în alte condiții. Istoria supraconductibilității are deja un secol, fiind prezentată în tabelul 9.2.

Supraconductibilitatea are numeroase aplicații practice: rezonanța magnetică nucleară (RMN) pentru investigarea corpului uman; obținerea magneților supraconductori; generatoare de curent electric de mare putere care livrează în rețea curent electric la tensiuni înalte, înlăturând transformatoarele; aplicații în domeniul fuziunii termonucleare controlate; stocarea pe timp îndelungat a energiei electrice în bobine supraconductoare; trenurile cu suspensie magnetică; aplicații în magnetohidrodinamică şi în industria de armament (americanii testează

---

[6]*Samuel RUBEN* (1900 - 1988) – cercetător american de la Universitatea Columbia, cu contribuții în electrochimie (condensatoare electrolitice de aluminiu, pile electrice pe bază de mercur), fiind autorul a circa 300 brevete de invenție şi unul din fondatorii companiei Duracell International.

Tabelul 9.2. **Istoricul materialelor supraconductoare**

Anul	**Evoluția materialelor supraconductoare**
1911	Fizicianul Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926), de la Universitatea din Leyda a răcit mercurul la –269 ^oC, constatând că rezistența sa electrică a dispărut. Pentru această descoperire a fost răsplătit cu Premiul Nobel pentru fizică, în 1913.
1933	Fizicienii germani Fritz Walther Meissner (1882-1974) şi Robert Ochsenfeld (1901-1993) au descoperit că materialele supraconductoare (plumb şi cositor răcite la o temperatură critică) resping liniile unui flux magnetic exterior, ceea ce se poate constata cu un magnet care stă în stare de levitație deasupra materialului. Curenții electrici de ecranare care circulă la suprafața supraconductorului generează un câmp magnetic care anulează câmpul magnetic aplicat. Acest fenomen se numeşte *efect Meissner* sau *diamagnetism perfect.*
1957	Fizicienii americani John Bardeen (1908-1991), Leon Cooper (n.1930) şi John Schrieffer (n. 1931) au pus bazele teoretice ale supraconductibilității prin *teoria BCS* (inițialele numelor savanților), pentru care au primit Premiul Nobel pentru fizică (1979). John Bardeen mai primise un astfel de premiu şi în 1956 pentru cercetări în domeniul semiconductoarelor.
1962	Fizicianul britanic Brian D. Josephson (n.1940), în timp ce era student în ciclul III de învățământ la Universitatea din Cambridge, a descoperit *efectul Josephson* (curentul electric curge între două materiale supraconductoare chiar şi atunci când acestea sunt separate de un strat izolator), fiind recompensat cu Premiul Nobel pentru fizică, în 1973, la numai 33 de ani. *Efectul Josephson* se foloseşte astăzi la detectarea câmpurilor magnetice foarte slabe.
1986	Fizicienii Alex Müller (n.1927 în Elveția) şi Georg Bednorz (n. 1950 în Germania), cercetători la Laboratorul IBM din Zürich (Elveția) au descoperit ceramica supraconductoare, fiind răsplătiți cu Premiul Nobel pentru fizică, în 1987.
1987	Descoperirea ceramicii supraconductoare a declanşat o adevărată întrecere între cercetători pentru găsirea unor noi combinații ceramice care să crească temperatura critică. Astfel, cercetătorii Wu Maw-Kuen de la Universitatea Alabama din Huntsville (în prezent, diectorul Insitutului de Fizică al Academiei Sinica din Taiwan) şi Paul Chu de la Universitatea din Houston (n. 1941, în prezent preşedintele Universității de Ştiință şi Tehnologie din Hong Kong) au înlocuit lantanul şi stronțiul din $La_{2-x}Sr_xCuO_4$, cu ytriu şi bariu, obținând un nou material ceramic supraconductor ($YBa_2Cu_3O_7$), cu temperatura critică de –181 ^oC, peste cea a azotului lichid (–195,79^o C) care este un agent de răcire uzual.
1988	Aleen Hermann de la Universitatea din Arkansas a realizat un supraconductor ceramic pe bază de calciu şi taliu cu temperatura critică de –153 ^oC.
1993	Profesorul Ulker Onbasli de la Universitatea din Colorado şi cercetătorii A. Schilling, M. Cantoni, J.D. Guo şi H.R. Ott de la Laboratorul IBM din Zürich au obținut recordul mondial al temperaturii critice (–135 ^oC), realizând un semiconductor ceramic din mercur, taliu, bariu, calciu, cupru şi oxigen, cu formula chimică $Hg_{0,8}Ta_{0,2}Ba_2Ca_2Cu_3O_{8,33}$.

bomba electromagnetică, o armă mai sofisticată decât toate armele realizate până acum).

Atenția cercetătorilor este îndreptată spre urcarea temperaturii critice şi spre înlăturarea elementelor toxice din supraconductoare (taliu, mercur, plumb).

Recent, s-a descoperit o ceramică supraconductoare care nu conține cupru, precum şi supraconductoare organice.

g) – Ceramica pentru substraturi de circuite integrate se foloseşte pentru fabricarea unor plăci subțiri pe care se montează microcircuitele electronice. Aceste plăci se confecționează îndeosebi dintr-un amestec de 90% alumină (Al_2O_3) şi 10% răşini sintetice, cu rol de liant, precum şi din oxid de beriliu (BeO) sau nitrură de aluminiu (AlN), prin presare în forme. După proiectarea şi imprimarea desenelor circuitelor, urmează arderea formei şi depunerea elementelor de circuit cu grosimi de ordinul micronilor, prin evaporare şi condensare în vid sau pulverizare catodică sau cu plasmă.

Pachetele de circuite integrate se obțin prin suprapunerea mai multor foi, cu legături între ele, iar suprafețele exterioare ale pachetelor se placheazǎ cu nichel. Pachetele pot conține şi diode sau tranzistoare, în acest caz având dimensiuni mai mari, dar şi performanțe electrice superioare (circuite integrate hibride).

9.4.4. Ceramică refractară şi pentru izolații termice

a) – Ceramica refractară se utilizează la căptuşirea furnalelor, cuptoarelor, focarelor şi aparatelor care funcționează la temperaturi de peste 1000 ^{o}C. Spre deosebire de celelalte materiale de construcție, ceramica refractară trebuie să îndeplinească anumite condiții speciale: să nu se topească sub acțiunea temperaturilor înalte; să nu-şi piardă rezistența mecanică la aceste temperaturi; să aibă un volum constant la temperaturile de exploatare; să aibă stabilitate termică, adică să nu îşi modifice proprietățile în urma încălzirilor şi răcirilor repetate; să reziste la acțiunea corosivă a materialelor topite cu care vine în contact.

În practică nu există ceramice refractare care să aibă în aceeaşi măsură toate proprietățile necesare pentru o exploatare în orice condiții. Fiecare tip de ceramică refractară are proprietăți specifice, pe baza cărora se stabileşte domeniul de utilizare rațională. Din punct de vedere al caracterului chimic, există trei mari familii de ceramice refractare: acide, bazice şi neutre. În tabelul 9.3 se prezintă proprietățile şi domeniile de folosire ale acestora.

Degradarea ceramicii refractare se datorează în principal şocurilor termice şi coroziunii zgurilor care se formează şi se depun la suprafața metalelor lichide. Aceste zguri sunt de fapt oxizi metalici care reacționează cu materialele refractare şi le distrug şi de aceea la contactul unei zguri acide trebuie să se utilizeze un material refractar acid, iar la contactul unei zguri bazice, un material refractar bazic.

După forma lor, ceramicele refractare pot fi fasonate, când au o formă geometrică bine definită şi nefasonate, când se prezintă sub formă de granule sau pulberi. Mai există şi materiale fibroase care se livrează sub formă de suluri.

Produsele fasonate se prezintă sub formă de cărămizi care pot fi normale (paralepipedice şi pană) sau speciale (radiale, tubulare şi cu profil special). Produsele nefasonate se livrează în vrac (ciment, mortar, chit, beton) şi se utilizează pentru realizarea zidăriilor, pentru reparații sau ca straturi de uzură în cuptoare.

Tabelul 9.3. **Proprietăţile şi aplicaţiile principalelor materiale ceramice refractare**

Materialul	Proprietăţi	Compoziţia chimică	Domenii de aplicare
Ceramică refractară acidă			
Silice	- Fluaj slab - Rezistenţă la şoc termic până la 800 ^oC	$SiO_2 > 93\%$	- Bolţi de cuptoare - Cuptoare pentru topirea sticlei
Argilă	- Coeficient de dilatare mare - Conductibilitate termică ridicată	$20\% < Al_2O_3 < 45\%$	- Căptuşirea cuptoarelor
Alumină	- Rezistenţă la coroziune ridicată	$Al_2O_3 > 45\%$	- Furnale
Ceramică refractară bazică			
Magnezie	- Refractaritate ridicată - Rezistenţă la coroziune foarte bună	MgO	- Cuptoare pentru topirea metalelor neferoase - Cuptoare electrice
Oxid de crom		Cr_2O_3	
Ceramică refractară neutră			
Carbon	- Coeficient de dilatare mic - Rezistenţă chimică mare	C	- Căptuşirea cuvelor de electroliză - Creuzete

b) – Ceramica pentru izolaţii termice se foloseşte la căptuşirea cuptoarelor şi a agregatelor termice a căror temperatură nu este prea mare (sub 1200 ^oC), pentru economisirea de combustibil. Ea are porozitate mare şi densitate mică şi se fabrică din materii prime uşoare şi poroase (diatomit, vermiculit şi argilă expandată).

Ceramica modernă pentru izolaţii termice se foloseşte ca scut termic pentru vehiculele spaţiale (navete spaţiale şi capsule de aterizare). La intrarea în atmosfera terestră, aceste vehicule ating temperaturi foarte mari, datorită frecării cu aerul şi dacă nu ar fi protejate termic, s-ar topi. Plăcuţele ceramice care le protejează trebuie să fie compatibile din punct de vedere chimic cu materialul-suport, să fie inerte la acţiunea gazelor din atmosferă, să aibă un coeficient de dilatare apropiat de cel al materialului-suport, să aibă o conductibilitate termică foarte scăzută şi, evident, să aibă o refractaritate foarte mare. Aceste plăcuţe au, de fapt, o structură compozită, fiind armate cu fibre de silice sau cu fibre de carbon.

Ceramica pentru izolaţii termice se mai utilizează la confecţionarea unor piese ale turbinelor cu gaze şi turbomotoarelor de aviaţie care sunt supuse la solicitări termice şi mecanice foarte mari. Astfel, camerele de ardere ale turbinelor care au temperaturi de peste 1500 ^oC se confecţionează din carbură de siliciu (SiC), iar rotoarele turbinelor, din nitrură de siliciu (Si_3N_4).

De asemenea, s-au făcut încercări pentru utilizarea materialelor ceramice la construcţia motoarelor cu ardere internă ale automobilelor. Astfel, la începutul anilor 1980, firma Toyota din Japonia a realizat un astfel de motor care poate funcţiona la o temperatură de 3300 ^oC, fără răcire. Acest lucru conduce la scăderea greutăţii motorului şi la creşterea randamentului său energetic. Într-un motor clasic metalic, o mare parte din energie se pierde prin căldura degajată care este înlăturată prin lichidul de răcire. Motorul japonezilor nu a putut echipa nici un automobil, din

cauza fragilității componentelor sale ceramice, rămânând o realizare de laborator care aşteaptă alte vremuri pentru a fi pusă în practică.

9.4.5. Ceramica tribologică

Materialele ceramice au şi aplicații tribologice, datorită coeficienților mici de frecare, rezistenței la acțiunea agenților chimici şi refractarității ridicate. Ele se pot folosi la fabricarea lagărelor cu alunecare care lucrează la temperaturi ridicate, în vid sau în medii expuse la radiații (reactoare nucleare şi navete spațiale). Aplicarea ceramicelor la confecționarea lagărelor cu alunecare este totuşi limitată de fragilitatea acestora.

O aplicație mai largă se întâlneşte la fabricarea rulmenților. Utilizarea ceramicii triplează durata de exploatare a unui rulment atât datorită micşorării frecării, cât şi reducerii forțelor centrifuge care la turații mari pot depăşi încărcarea nominală a rulmentului, materialele ceramice având o densitate mai mică decât oțelul. De asemenea, rolele sau bilele ceramice se deformează mai puțin sub sarcină, ceea ce asigură o mai bună rostogolire a lor pe căile de rulare şi o creştere a turației nominale. Căldura produsă în cazul rulmenților metalici poate duce la supraîncălzirea sau chiar griparea acestora, pe când în cazul rulmenților cu corpuri de rostogolire ceramice, acest pericol este înlăturat. De asemenea, ceramica este foarte rezistentă la acțiunea agenților chimici şi se poate utiliza şi în medii umede, unde rulmenții de oțel nu pot funcționa. Inconvenientul principal al rulmenților ceramici este costul ridicat.

Materialul cel mai indicat pentru fabricarea rulmenților ceramici este nitrura de siliciu (Si_3N_4) care se topeşte la 1900 ^oC, este rezistentă la acțiunea agenților chimici şi are o structură fină şi o tenacitate bună, precum şi un coeficient de frecare mic.

9.4.6. Bioceramica

Ceramica devine din ce în ce mai utilă în medicină. Ortopezii folosesc bioceramica pentru înlocuirea şoldurilor, genunchilor, umerilor, coatelor, degetelor şi încheieturilor mâinilor corpului uman. Ea este folosită şi în stomatologie şi chiar la fabricarea valvelor de inimă. Implanturile ceramice tind să le înlocuiască pe cele metalice, datorită faptului că ele sunt compatibile cu corpul uman, stimulând reformarea oaselor şi a țesuturilor şi nu sunt atacate de sistemul imunitar al organismului.

Materialul ceramic cel mai apropiat de compoziția şi structura osoasă a corpului uman este hidroxiapatitul fosfocalcic, cu formula chimică $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. El se obține din reacția fosfaților de calciu acizi şi bazici într-o soluție apoasă, obținându-se o pastă care se poate modela uşor. Produsul ceramic are o rețea cristalină foarte apropiată de cea a osului şi o rezistență la compresiune de circa 20 MPa. Nu conține materii organice umane sau animale, aşa că nu prezintă nici un risc de contaminare. De asemenea, nu există pericol de respingere

sau de toxicitate. Recunoscut de celulele osoase, este perfect compatibil cu ţesuturile vecine, se resoarbe şi dispare, lăsând locul unui os proaspăt format.

Întrucât rezistenţa mecanică a hidroxiapatitului fosfocalcic este destul de mică, acesta se foloseşte adesea pentru a îmbrăca implanturile ortopedice metalice în scopul evitării respingerii lor de către ţesuturile vecine. Oricum, acest material ceramic sintetic este speranţa de viitor în domeniul implanturilor osoase.

9.5. Prelucrarea materialelor ceramice

Proprietăţile fizico-mecanice ale materialelor ceramice (fragilitate, duritate şi temperatură înaltă de topire) nu permit prelucrarea acestora prin procedee clasice, asemenea metalelor. Schema prelucrării materialelor ceramice este prezentată în fig. 9.2.

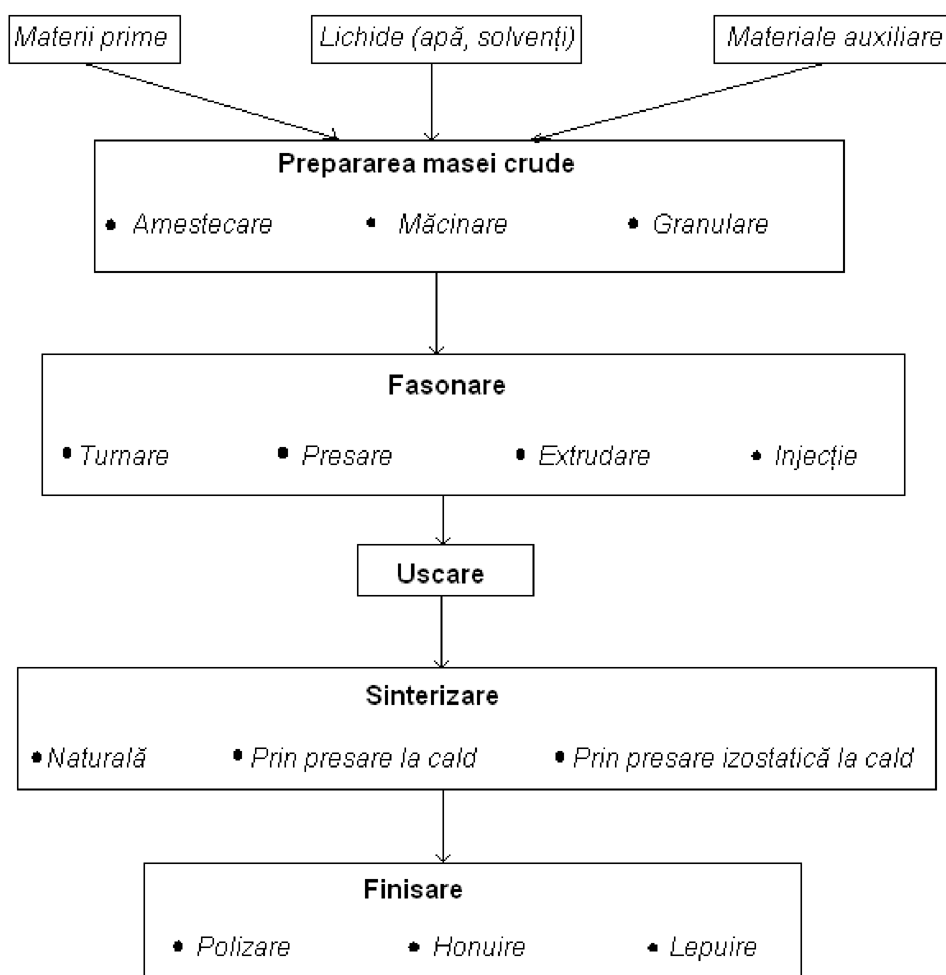


Fig.9.2. Schema fabricării produselor ceramice.

Materiile prime şi *materialele auxiliare* au fost prezentate în § 8.2.

a) – Prepararea masei crude se face prin *amestecare, măcinare* şi *granulare.*

Amestecarea se realizează cu amestecătoare sau malaxoare, pentru transformarea materialelor într-o masă omogenă.

Măcinarea este o operație de sfărâmare şi mărunțire a materialelor friabile care se realizează cu ajutorul morilor. Există *mori cu bile* la care măcinarea se produce prin căderea şi rostogolirea unor bile metalice, *mori cu ciocane* care acționează prin lovire, *mori cu bare* la care măcinarea se realizează cu bare cilindrice cu lungimea egală cu a morii şi *mori cu cilindri* care funcționează prin presare. Măcinarea poate fi uscată sau umedă.

Granularea este operația de transformare în granule de ordinul micronilor a masei ceramice fluide numite *barbotină*, cu ajutorul unei maşini numite *granulator*, cu următoarea funcționare (fig.9.3): barbotina fluidă este introdusă şi împrăştiată prin centrifugare în turnul de uscare *1* cu discul *2*. În turn se insuflă aer încălzit în camera *3* pentru uscarea granulelor de barbotină. Acestea cad, prin gravitație, ajungând pe transportorul *4*, iar cele care au dimensiuni prea mici sunt aspirate de ventilatorul *5*, prin ciclonul *6*. Particulele mai grele coboară prin ciclon pe transportor, iar cele foarte fine sunt aspirate de ventilator şi urmează a fi reciclate. Transportorul duce granulele care au dimensiuni corespunzătoare într-un siloz.

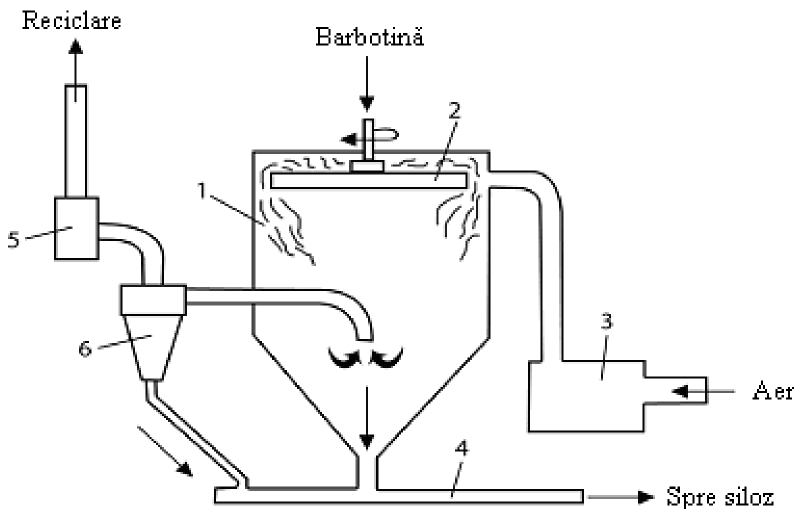


Fig. 9.3. Instalație de granulare.

b) – Fasonarea este operația cea mai importantă prin care se dă produselor forma dorită. Ea se poate realiza prin turnare, presare, extrudare şi injecție.

Turnarea se face în forme hidrofile din ipsos (fig. 9.4). Barbotina din vasul *1* se varsă în forma hidrofilă din ipsos *2* şi după uscare rezultă piesa *3*.

Procedeul se foloseşte la fabricarea produselor de porţelan şi de faianţă. Barbotina trebuie să fie fluidă, să aibă un conţinut de apă cât mai mic şi să fie stabilă.

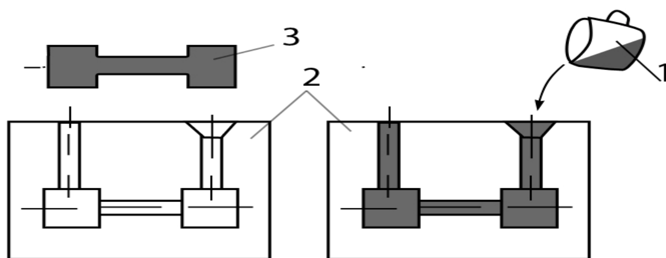


Fig. 9.4. Turnarea.

Presarea poate fi uscată sau umedă şi se poate face dintr-o singură parte (fig. 9.5.a), prin apăsarea cu poansonul *1* în matriţa *2* a materialului *3* sau din două părţi (fig. 9.5.b), când presarea se face mai uniform. Mai există şi presare izostatică (fig.9.5.c): materialul *1* este introdus în mantaua de cauciuc *2*, amplasată în camera de presare *3*, în care se trimite lichidul sub presiune *4* (până la 20.000…60.000 daN/cm^2). Camera este închisă cu capacul *5* iar presiunea se controlează cu manometrul *6*.

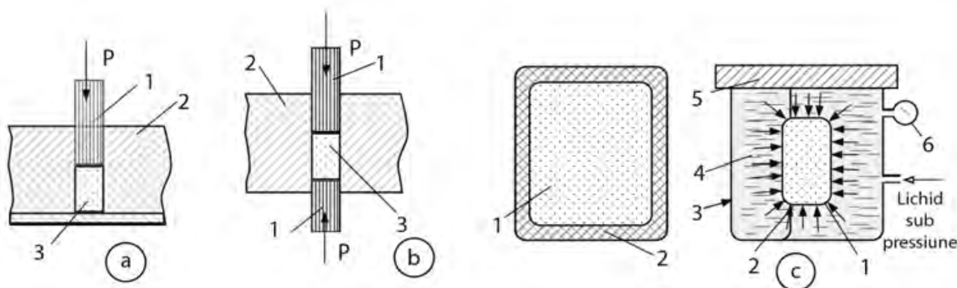


Fig. 9.5. Presarea.

Extrudarea constă în trecerea forţată a materialului prin deschizătura profilată a unei matriţe, prin împingere. Astfel materialul *1* (fig.9.6) este împins cu poansonul *2* în camera de presare *3*, fiind trecut prin matriţa *4*, profilată corespunzător.

Injecţia se realizează cu instalaţii asemănătoare celor utilizate la turnarea sub presiune a materialelor plastice (vezi fig.7.6).

c) – Uscarea se face pentru înlăturarea apei din produsele fasonate şi se realizează natural sau artificial, în instalaţii numite uscătorii. Produsele bine uscate rezistă la o creştere rapidă a temperaturii în perioada ulterioară de ardere şi, prin aceasta, creşte productivitatea cuptoarelor şi se reduce consumul de combustibil pentru ardere.

d) – Sinterizarea constă în încălzirea pieselor fasonate şi uscate la o temperatură cuprinsă între 0,7 şi 0,8 din temperatura de topire a componentului

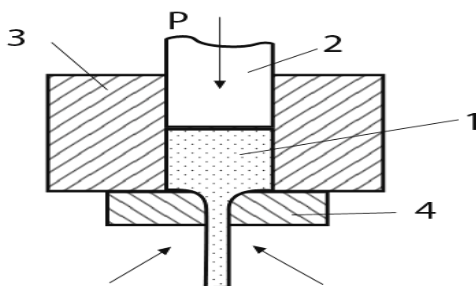


Fig. 9.6. Extrudarea.

principal al amestecului şi are ca scopuri creşterea rezistenței la tracțiune şi a durității pieselor, ca şi modificarea unor proprietăți fizice şi chimice.

În timpul procesului de sinterizare (fig.9.7) are loc difuziunea atomilor care formează grăunții cristalini ai granulelor *1* (fig.9.7.a), formându-se legăturile punctiforme *2* (fig.9.7.b) între granule. Datorită creşterii mobilității atomilor şi tendinței de deplasare spre echilibru a sistemului, are loc o recristalizare, prin creşterea noilor grăunți cristalini *3* (fig.9.7.c). Prin recristalizare se reduce cantitatea de pori, iar materialul se contractă şi se compactizează.

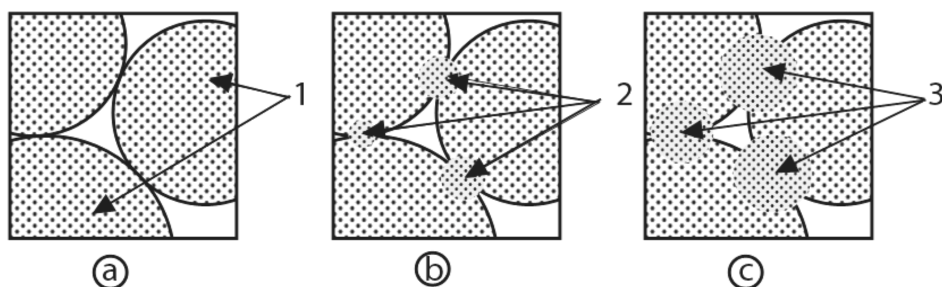


Fig.9.7. Mecanismul sinterizării.

Factorii care influențează calitatea procesului de sinterizare sunt: temperatura, durata şi mediul de lucru. Temperatura de sinterizare depinde de natura componenților amestecului, practic fiind cuprinsă între 0,7 şi 0,8 din valoarea temperaturii de topire a componentului principal al amestecului. Durata sinterizării depinde de scopul final al tratamentului şi se stabileşte în funcție de proprietățile pe care trebuie să le aibă piesa tratată.

În ceea ce priveşte modul de lucru, sinterizarea poate fi :

- *naturală*, atunci când nu se aplică forțe exterioare; metoda este simplă, dar necesită temperaturi ridicate, ceea ce conduce la creşterea noilor grăunți cristalini şi eliminarea totală a porozității;

- *prin presare la cald* (fig.9.5.a,b), când se pot obține densități mari la temperaturi mai scăzute, fără înlăturarea completă a porozității;

- *prin presare izostatică la cald* (fig.9.5.c), atunci când se urmăreşte scopul metodei anterioare, dar la temperaturi şi mai scăzute.

Sinterizarea sau arderea se realizează, în funcţie de natura şi destinaţia pieselor, în diverse tipuri de cuptoare.

e) – Finisarea se aplică atunci când cerinţele tehnologice o impun şi conduce la o precizie dimensională a pieselor şi o calitate a suprafeţelor prelucrate foarte bune. Ea se execută cu scule abrazive, deseori diamantate, prin *polizare, honuire* sau *lepuire.*

9.6. Dicţionar român–englez–francez de cuvinte-cheie

material ceramic	ceramic material	matériel (*m*) céramique
cărămidă	brick	brique (*f*)
ţiglă	tile	tuile (*f*)
teracotă	terra cotta	terre (*f*) cuite
faianţă	faience	faïence (*f*)
gresie	stoneware	grès (*m*)
porţelan	porcelain	porcelaine (*f*)
mozaic	mosaic	mosaïque (*f*)
ceramică utilitară	utilitarian ceramic	céramique (*f*) utilitaire
ceramică de artă	art ceramic	céramique (*f*) d´art
ceramică industrială	technical ceramic	céramique (*f*) industrielle
sculă aşchietoare	cutting tool	outil (*m*) de coupe
izolator ceramic	ceramic insulator	isolateur (*m*) céramique
condensator ceramic	ceramic capacitor	condensateur (*m*) céramique
feroelectricitate	ferroelectricity	ferroélectricité (*f*)
ceramică piezoelectrică	piezoelectric ceramic	céramique (*f*) piézoélectrique
ceramică feromagnetică	ferromagnetic ceramic	céramique (*f*) ferromagnétique
ceramică semiconductoare	semiconductor ceramic	céramique (*f*) semi-conductrice
termistor	thermistor	thermistance (*f*)
varistor	varistor	varistance (*f*)
ceramică supraconductoare	superconducting ceramic	céramique (*f*) supraconductrice
ceramică refractară	refractary ceramic	céramique (*f*) réfractaire
izolaţie termică	thermal insulation	isolation (*f*) thermique
ceramică tribologică	tribological ceramic	céramique (*f*) tribologique
bioceramică	bioceramic	bio-céramique (*f*)
măcinare	grinding	broyage (*m*)
granulare	granulation	granulation (*f*)
presare	pressing	pressage (*m*)
turnare	casting	coulage (*m*)
extrudare	extrusion	extrusion (*f*)

PARTEA A PATRA

10

MATERIALE COMPOZITE

10.1. Generalități

Materialul compozit este o îmbinare a două sau mai multor materiale imiscibile, dar care au o capacitate mare de adeziune şi care are proprietăți superioare materialelor din care provine. Un astfel de material este constituit dintr-o osatură numită *ranfort* care asigură rezistența mecanică şi un material de legătură numit *matrice* care asigură coeziunea structurii şi transmiterea solicitărilor la care sunt supuse piesele. Ele mai conțin *materiale de umplutură* care modifică sensibil proprietățile mecanice, electrice şi termice, ameliorează aspectul superficial şi reduc prețul de cost. Materialele astfel obținute sunt eterogene (au proprietăți diferite în puncte diferite) şi anizotrope (nu au aceleaşi proprietăți în toate direcțiile).

Primul material compozit utilizat de om a fost lemnul (compozit natural), iar mai târziu chirpiciul (material de construcție sub formă de cărămidă, făcut dintr-un amestec de lut, paie şi băligar uscat la soare), betonul şi betonul armat. În 1823, Charles Macintosh[1] a inventat impermeabilul, prin cauciucarea unei țesături de bumbac, iar în 1892, François Hennebique[2] a realizat betonul armat.

Materialele compozite prezintă următoarele avantaje: greutate redusă; rezistență bună la tracțiune; coeficient de dilatare mic; rezistență la oboseală ridicată; reziliență ridicată; capacitate bună de amortizare a vibrațiilor; rezistență la umiditate, căldură, coroziune, precum şi la acțiunea unor produse chimice (uleiuri, solvenți, petrol); ciclu de fabricație scurt şi preț de cost acceptabil; siguranță mare în funcționare.

În acelaşi timp, ele nu pot înlocui materialele metalice sau ceramice în domenii care reclamă proprietăți fizico-mecanice sau chimice specifice. Clasificarea materialelor compozite se face după criteriile prezentate în fig.10.1.

---

[1]*Charles MACINTOSH* (1766 - 1843) – inventator şi chimist scoțian care a obținut mai mulți coloranți şi a patentat o metodă de elaborare a oțelului la temperatură ridicată. Este cunoscut mai ales prin inventarea impermeabilului, o manta cauciucată de ploaie care, în Marea Britanie, se numeşte *mackintosh.*

[2]*François HENNEBIQUE* (1842 - 1921) – constructor francez care şi-a început activitatea ca simplu zidar. În 1892 a construit primul imobil din beton armat, iar în 1899, primul pod din beton armat, la Châtellerault, în Franța. Au urmat apoi docurile din Manchester, tunelul din Newcastle şi stadionul din Lyon.

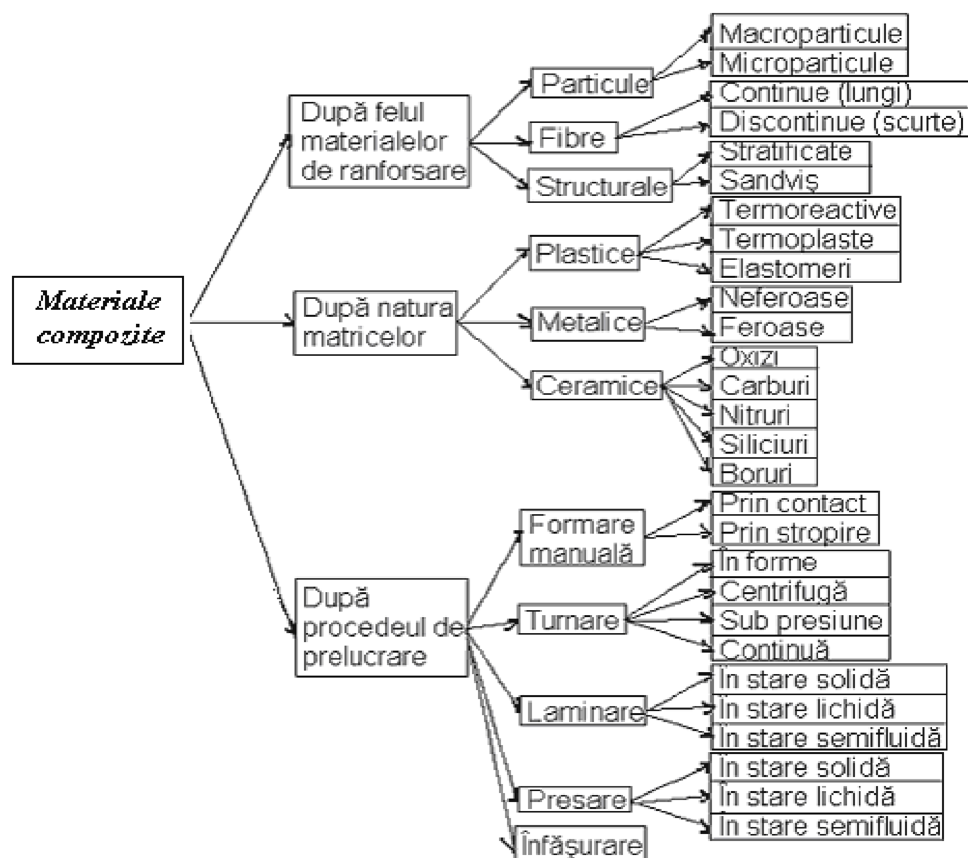


Fig.10.1. Clasificarea materialelor compozite.

10.2. Tipuri de materiale compozite

Materialele de armare constituie osatura compozitelor, conferindu-le rezistenţă la tracţiune, rigiditate şi un modul de elasticitate bun. După natura lor, ele pot fi organice sau anorganice, iar după modul de prezentare, sub formă granulară, de fibre sau plăci.

Matricea leagă compozitul într-un monolit, transmite eforturile materialelor de ranforsare şi împiedică deplasarea acestora. De asemenea, asigură protecţia chimică a osaturii împotriva agenţilor exteriori şi dă forma dorită produsului finit. Ca matrice, se folosesc materiale plastice (până la 200 ^oC), metalice (până la 600^oC) sau ceramice (până la 2000 ^oC).

Materialul compozit obţinut îmbină proprietăţile favorabile ale componentelor şi înlătură proprietăţile nefavorabile ale acestora. Astăzi există un număr însemnat de materiale compozite, în cele ce urmează prezentându-se câteva dintre acestea.

10.2.1. Materiale compozite armate cu particule

Materialul compozit este alcătuit din particulele dure şi fragile *1* dispersate aleatoriu în matricea moale şi ductilă *2* (fig.10.2). Cu cât aceste particule sunt mai fine şi distanța dintre ele este mai mică, cu atât compozitul este mai dur şi mai rezistent. În practică, se utilizează îndeosebi compozite armate cu particule mai mari care au proprietăți specifice interesante.

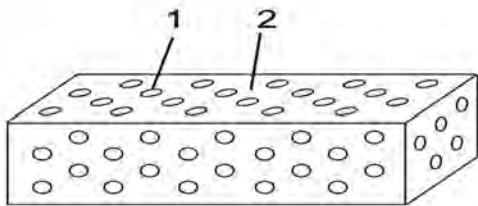


Fig.10.2. Material compozit armat cu particule.

a) – Carburile metalice conțin particule ceramice dure (carburi de wolfram, titan şi tantal), cu concentrații volumice de până la 94%, încorporate într-o matrice de cobalt. După presarea amestecului de pulberi, acesta se încălzeşte peste temperatura de topire a cobaltului. Cobaltul lichid va încorpora particulele dure, rezultând astfel plăcuțele dure cu care se armează sculele aşchietoare.

b) – Sculele abrazive sunt produse fasonate sub formă de discuri sau prisme, alcătuite din particule abrazive, încorporate în masa unui liant. Materialele abrazive sunt materiale cristaline dure sub formă de granule, pulberi sau micropulberi care, datorită muchiilor şi vârfurilor aleatoare pe care le au, detaşează numeroase aşchii mărunte de pe suprafața de prelucrat. Ele pot fi naturale sau artificiale.

Ca materiale abrazive naturale se utilizează: şmirghelul (40…65% Al_2O_3 cristalin, cu adaosuri de magnetită, cuarț şi silicați), cuarțul, corindonul şi diamantul natural, iar ca materiale abrazive sintetice, electrocorindonul, carbura de siliciu, carbura de bor, azotura cubică de bor şi diamantul artificial.

Lianții au rolul de a îngloba particulele abrazive. Ei trebuie să reziste la solicitări termice mari, la solicitări mecanice şi la acțiunea lichidelor de răcire. Din punct de vedere chimic pot fi anorganici (argilă, feldspat, caolin, silicați fluizi, oxiclorură de magneziu, oxid de magneziu) sau organici (lacuri, bachelită, cauciuc natural sau sintetic).

c) – Contactele electrice se obțin din pulberi de wolfram şi argint care se presează şi se încălzesc până la topirea argintului. Particulele dure de wolfram vor fi încorporate într-o matrice de argint. Contactele electrice vor avea astfel o rezistență la uzură ridicată şi o conductibilitate electrică foarte bună.

d) – Aliajele antifricțiune sunt alcătuite din compuşi intermetalici duri încorporați într-o matrice moale şi cu temperatura de topire scăzută. Cristalele dure (Sb, SnSb, Cu_3Sn) au un coeficient de frecare redus şi asigură rezistența mecanică a cuzineților lagărelor cu alunecare, iar matricea moale (Pb, Sn) conferă un coeficient de frecare şi mai mic, precum şi acomodarea la fusul arborelui, pe măsura uzării.

e) – Cermeturile (*cer*amică + *met*al) sunt amestecuri de pulberi ceramice dure (Al_2O_3, ZrO_2, mullit[3]) până la o concentrație volumică de 80%, cuprinse într-o

matrice metalică (Fe, Cr, Ni, Co, Mo). Ele se obţin prin tehnologii de metalurgia pulberilor (presare şi sinterizare) şi se folosesc ca materiale rezistente la temperaturi înalte sau la uzură (căptuşirea camerelor de combustie ale reactoarelor).

f) – Masele plastice cu materiale de umplutură constau dintr-un material plastic termoreactiv (răşini fenolice sau epoxidice) sau termoplast (polimetacrilat de metil, polipropilenă, poliamidă, teflon), în care sunt înglobate materiale de umplutură de naturi diferite (rumeguş de lemn, praf de cuarţ, pulberi metalice) cu concentraţii volumice de până la 70%. Aceste materiale se remarcă prin preţuri avantajoase şi proprietăţi fizico-mecanice îmbunătăţite.

Polietilena cu pulberi de plumb se foloseşte la reactoarele nucleare pentru absorbţia radiaţiilor, iar cauciucul vulcanizat (încălzit cu sulf pentru mărirea elasticităţii şi a rezistenţei la acţiunea solvenţilor) în amestec cu negru de fum îşi măreşte rezistenţele la rupere, la uzură şi la căldură, precum şi duritatea.

10.2.2. Materiale compozite armate cu fibre

Compozitele armate cu fibre au caracteristici mecanice foarte bune şi densităţi mici, fiind utilizate îndeosebi în industria aerospaţială. De asemenea, ele sunt singurele materiale care se pot folosi la temperaturi mai mari de 900 ^{o}C, în condiţii de solicitări mecanice mari şi în medii oxidante (reactoare nucleare, industriile aerospaţială şi de armament).

10.2.2.1. Fibre de armare. Dispunerea fibrelor în materialul compozit se poate realiza în mai multe moduri (fig.10.3): uniaxial (fig.10.3.a), biaxial (fig.10.3.b), triaxial (fig.10.3.c), sub formă de ţesătură (fig.10.3.d) sau sub formă toroidală (fig.10.3.e).

După natura lor, fibrele de ranforsare se clasifică după schema din fig.10.4.

a) – Fibrele de sticlă au fost primele fibre utilizate la armarea compozitelor şi se obţin prin tragere. Sticla este un material nemetalic termoplast, cu structură amorfă care se obţine prin topirea în comun a mai multor materiale componente: vitrifianţi pentru producerea materiei sticloase (SiO_2), fondanţi pentru coborârea temperaturii de topire (Na_2O, K_2O) şi stabilizatori pentru creşterea durităţii, rezistenţei mecanice şi stabilităţii chimice (MgO, PbO, Al_2O_3, BaO). Aceste componente se amestecă în stare solidă şi se topesc în creuzete, la 1300…1500 ^{0}C, timp de 12…15 ore, încărcătura fiind supusă unor transformări fizico-chimice complexe.

Fibrele de sticlă nu trebuie să prezinte zgârieturi care ar constitui zone de concentrare a tensiunilor şi ar conduce la scăderea rezistenţei mecanice. Pentru înlăturarea posibilităţii deteriorării superficiale a fibrelor, acestea se protejează cu un strat de grund care facilitează şi adeziunea lor la matrice.

b) – Fibrele de carbon conţin 80…95% C, sunt uşoare, rezistente la acţiunea agenţilor chimici şi a mediului înconjurător, stabile la temperaturi înalte, bune conducătoare de căldură şi electricitate şi rezistente la tracţiune şi compresiune.

---

[3]*Mullit* – silicat de aluminiu foarte refractar, incolor sau roz, cu luciu sticlos, conţinut în materiale aluminoase şi argiloase.

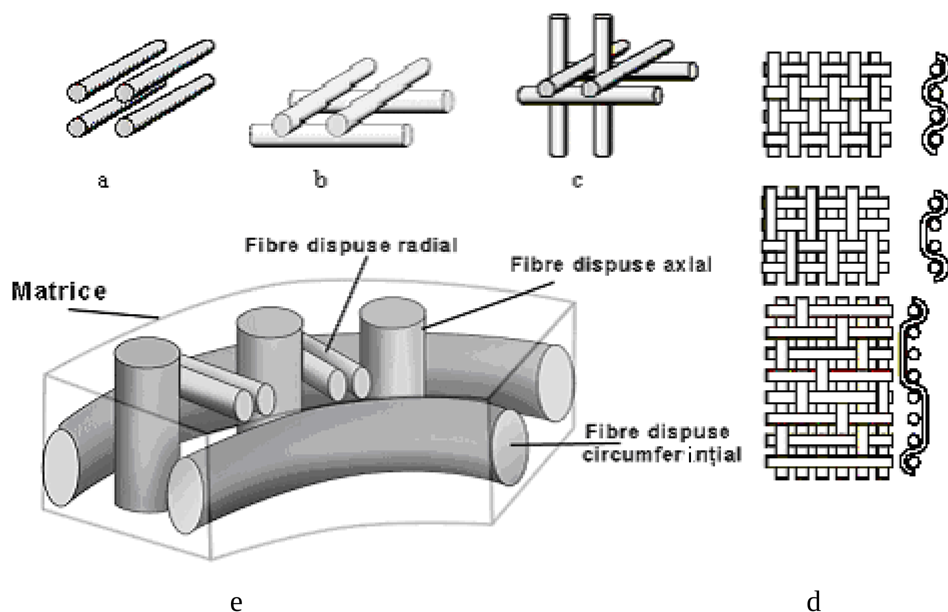


Fig.10.3. Materiale compozite armate cu fibre.

- ***Fibre***
  - Organice
    - Vegetale
      - Lemn
      - Bummbac
      - Iută
      - In
      - Hârtie
    - Materiale plastice
      - Poliester
      - Aramide
  - Anorganice
    - Metalice
      - Feroase
      - Neferoase
    - Ceramice
      - Sticlă
      - Carbon
      - Bor
      - Cuarț

Fig.10.4. Clasificarea fibrelor de ranforsare.

Se obţin din materii prime solide (cărbune amorf, asfalt de petrol, fibre organice), lichide (gudron, petrol, uleiuri aromatice) sau gazoase (acetilenă, hidrocarburi) care se supun unui proces de combustie incompletă (piroliză controlată). Dacă arderea are loc la 1000…1500 ^{o}C se obţin fibre de înaltă rezistenţă, iar la 1800…2000 ^{o}C se obţin fibre cu module de elasticitate foarte bune.

Fibrele de carbon se utilizează în construcţia avioanelor militare şi a vehiculelor de înaltă performanţă (discuri de frână), a articolelor sportive (undiţe de pescuit, crose de golf, rachete de tenis, schiuri, arcuri de tir, cadre de biciclete), precum şi a filtrelor de gaze pentru temperaturi înalte.

c) – Fibrele de aramide provin din poliamide aromatice şi au fost introduse pe piaţă în 1973 de către firma Du Pont, sub numele de *kevlar*. Sunt rezistente la tracţiune, la şoc şi la abraziune. De asemenea, sunt rezistente la foc şi la căldură (nu se topesc), precum şi la acţiunea solvenţilor organici.

Se folosesc în construcţii aeronautice cu aplicaţii militare, la fabricarea unor ambarcaţiuni uşoare sau piese pentru vapoare (cârme, catarge, rezervoare şi spărgătoare de valuri), la fabricarea vestelor antiglonţ şi a căştilor de protecţie.

d) – Fibrele de bor au fost obţinute în 1959 de firma Texaco din SUA şi utilizate pentru armarea unor compozite folosite de aviaţia militară. Ele au un miez de wolfram pe care se depune, prin vaporizare, un strat subţire de bor şi prezintă rezistenţe la rupere şi la compresiune foarte bune, precum şi un modul de elasticitate înalt şi o rezistenţă la oboseală excepţională.

Utilizarea lor este limitată de costul ridicat, de fragilitatea şi duritatea care au valori mari. Duritatea ridicată îngreunează prelucrările mecanice ulterioare care necesită scule armate cu diamant. Pentru înlăturarea acestor dezavantaje, fibrele de bor ce combină cu fibre de sticlă şi de carbon şi se utilizează în aviaţia militară (lonjeroane, voleţi, panouri de fuselaj) sau la fabricarea unor articole sportive de performanţă (rachete de tenis, undiţe de pescuit).

e) – Fibrele de cuarţ conţin 99,95…99,97 SiO_2 şi se obţin prin tragere din material topit la 1800 ^{o}C. Sunt foarte rezistente la acţiunea agenţilor chimici şi a mediului înconjurător şi stabile termic până la 1000 ^{o}C, dar proprietatea cea mai importantă a lor este rezistenţa la ablaţiune. *Ablaţiunea* este un fenomen fizic în urma căruia un corp care străbate atmosfera cu mare viteză (meteorit, satelit, navetă spaţială) pierde din substanţă datorită încălzirii sale până la incandescenţă prin frecare cu aerul. Ca urmare, fibrele de cuarţ se utilizează la armarea unor materiale din care se construiesc scuturile de ablaţiune pentru protecţia navelor cosmice.

În afară de fibrele de ranforsare prezentate mai sus, pentru armarea materialelor compozite se mai utilizează fibre de alumină, azbest, carbură de siliciu sau chiar vegetale (celuloză, bumbac, iută, in, hârtie).

În tabelul 10.1 sunt prezentate caracteristicile fizico-mecanice ale principalelor fibre de ranforsare a materialelor compozite.

Fibrele pentru armarea compozitelor sunt supuse înainte de încorporarea în matrice unei ungeri cu un amestec de substanţe cleioase şi antistatice în următoarele scopuri: compatibilizarea fibrelor cu matricea; rigidizarea fibrelor în vederea manipulării uşoare; protecţie contra deteriorării superficiale prin frecare reci-

Tabelul 10.1. **Proprietățile fizico-mecanice ale fibrelor de ranforsare**

Proprietăți / Materialul	Diametrul [μm]	Masa volumică [g/cm^3]	Rezistența la rupere [MPa]	Rezistența la compresiune [MPa]	Alungirea la rupere [%]	Modul de elasticitate longitudinal [MPa]	Coeficientul de dilatare termică [$^oC^{-1}$]	Temperatura maximă de utilizare [^oC]
Sticlă E[1]	16	2,54	3400	1200	4,8	73000	$0,5\cdot10^{-5}$	550
Sticlă R[2]	10	2,48	4400	1300	5,4	86000	$0,3\cdot10^{-5}$	650
Carbon HM[3]	6,5	1,80	2200	1300	0,6	390000	$0,08\cdot10^{-5}$	2000
Carbon HR[4]	7	1,78	2800	1800	1,3	230000	$0,02\cdot10^{-5}$	2500
Aramidă (kevlar)	12	1,45	3100	500	2,3	130000	$0,2\cdot10^{-5}$	200
Bor	100	2,63	3500	3500	0,8	400000	$0,4\cdot10^{-5}$	700
Cuarț	8,9	2,19	3200	3200	5	77000	$0,54\cdot10^{-5}$	750

Observații: 1 MPa = 1 N/mm^2; [1]*Sticla E* – sticlă pentru compozite obișnuite; [2]*Sticla R* – sticlă pentru compozite cu performanțe ridicate; [3]*Carbon HM* – carbon pentru fibre cu modul de elasticitate ridicat; [4]*Carbon HR* – carbon pentru fibre cu rezistență mecanică mare.

procă sau cu piese metalice; împiedicarea apariţiei sarcinilor electrostatice prin frecare.

10.2.2.2. Matricele. Matricea are două scopuri principale: să transmită solicitările mecanice fibrelor de ranforsare şi să asigure protecţia acestora la acţiunea mediului înconjurător. Pentru îndeplinirea acestor scopuri, matricea trebuie să adere la fibre, să fie ductilă şi să aibă o bună rezistenţă la fluaj.

După natura lor, matricele se clasifică după schema din fig.10.5.

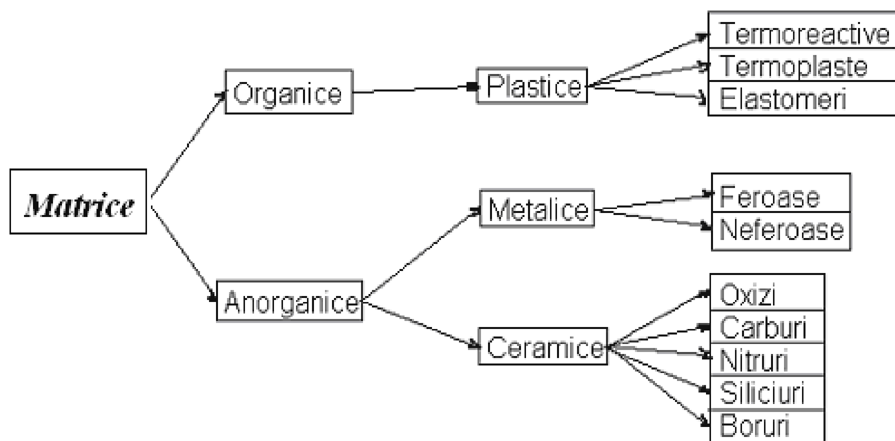


Fig.10.5. Clasificarea matricelor.

A) – Matricele plastice au proprietăţi mecanice mai slabe decât cele metalice sau ceramice, dar se pot prelucra la temperaturi mai joase şi astfel pericolul de distrugere a fibrelor de ranforsare dispare. De asemenea, ele se obţin mai uşor şi costă mai puţin decât metalele şi ceramicele. Dezavantajul lor major este că nu se pot utiliza la temperaturi mai mari de 200 ^{0}C. Matricele organice sunt cele mai răspândite, reprezentând circa 75% din totalul matricelor folosite.

a) – Materialele plastice termoreactive au o structură tridimensională şi prin încălzire se înmoaie şi se fasonează în forma dorită, dar nu se mai pot recicla, fiind infuzibile şi insolubile, datorită încheierii polimerizării în timpul încălzirii şi prelucrării. Aceste materiale ce mai numesc *răşini*, cele mai importante fiind:

- *răşinile poliesterice* sunt translucide, cu rezistenţă chimică bună, se prelucrează uşor, rezistă până 150 ^{o}C şi sunt ieftine.Ca dezavantaje se menţionează că sunt inflamabile, se contractă mult (6…15%) şi emit stiren. Se armează cu fibre de sticlă, iar compozitele obţinute se utilizează la temperaturi obişnuite;

- *răşinile vinilesterice* sunt înrudite cu poliesterii, se armează cu fibre de sticlă, au o bună rezistenţă la oboseală şi o excelentă rezistenţă la coroziune, dar sunt inflamabile. Compozitele din vinilester armat cu fibre de sticlă se folosesc la fabricarea ţevilor de canalizare şi a rezervoarelor pentru produse chimice;

- *răşinile epoxidice* au proprietăţi mecanice, termice şi chimice bune, contracţie scăzută, o excelentă aderenţă la fibre şi se prelucrează uşor în produse. În acelaşi timp, sunt sensibile la umiditate, la razele ultraviolete şi la şocuri,

îmbătrânesc sub acțiunea căldurii şi au un preț ridicat.Prin ranforsarea răşinilor epoxidice cu fibre de sticlă, de carbon sau de kevlar se obțin compozite utilizate la fabricarea palelor de elicopter, cisternelor şi conductelor pentru produse corosive sau a unor materiale sportive;

- *răşinile fenolice* sunt rezistente la căldură (până la 150 ^oC) şi la foc şi au stabilitate chimică, dar sunt fragile, sensibile la umiditate şi dificil de colorat şi de fasonat;

- *răşinile poliuretanice* au stabilitate chimică bună, nu îmbătrânesc şi sunt uşor de fasonat, însă au rezistență mecanică redusă, ard şi se colorează dificil.

b) – Materialele termoplaste sunt polimeri cu structură liniară, foarte răspândite şi ieftine care încep să fie utilizate ca matrice ale materialelor compozite datorită următoarelor avantaje: se pot recicla prin topire sau solubilizare; ciclul de fabricație este scurt iar fasonarea, uşoară; au o durată de folosire nelimitată şi nu reclamă condiții speciale de stocare. Utilizarea lor este limitată de rezistența termică scăzută (sub 150 ^oC) şi de aderența mai slabă la fibrele de ranforsare.

Principalele matrice termoplaste sunt:

- *polipropilena* (PP): destul de stabilă termic (110 ^oC), rezistentă chimic şi ieftină, dar nu rezistă la şocuri şi arde;

- *polisulfona* (PSU): stabilitate chimică foarte bună şi rezistență la hidroliză (reacție chimică cu apa, în prezența unui catalizator), la fluaj şi la căldură (până la 180 ^oC) şi caracteristici de izolare electrică bune, dar este higroscopică (absoarbe cu uşurință apa din atmosferă);

- *poliamida* (PA) este rezistentă la şoc, la oboseală şi la acțiunea hidrocarburilor, dar şi puternic higroscopică;

- *policarbonatul* (PC) are rezistență mecanică ridicată, rigiditate bună, rezistență la şoc, la unsori şi uleiuri, fiind atacat de benzen şi soluțiile alcaline;

- *poliesterii liniari* numiți *politeraftalat etilenic* (PET) şi *butilenic* (PBT) au proprietăți mecanice bune, nu absorb apa, nu se dilată termic şi sunt buni izolatori electrici, dar nu rezistă la apă fierbinte, abur, acetone, solvenți halogenici, alcalii tari sau soluții acide.

c) – Elastomerii sunt materiale polimerice cu elasticitate ridicată, suportând deformări de peste 100%, aproape total reversibile. Toți elastomerii sunt organici, cu excepția siliconului care este de natură minerală. Ei conțin 50…60% polimeri, restul fiind materiale de umplutură, agenți de vulcanizare, acceleratori, produse pentru întârzierea îmbătrânirii şi alți aditivi care asigură obținerea scopului urmărit.

Elastomerii sunt incompresibili sau foarte puțin compresibili, având coeficientul lui Poisson[4] în jur de 0,5, utilizându-se la fabricarea garniturilor de

[4]*Siméon-Denis POISSON* (1781 - 1840) – matematician şi fizician francez şi unul din creatorii fizicii matematice. Contribuții în domeniile mecanicii cereşti, ecuațiilor fizicii matematice, hidromecanicii, electrostaticii, calculului probabilităților (*Teoria analitică a probabilităților*), mecanicii teoretice (*parantezele lui Poisson*) şi teoriei elasticității (*ecuația lui Poisson*). *Coeficientul lui Poisson* (ν) caracterizează contracția unui material elastic asupra căruia acționează o forță axială, fiind egal cu raportul dintre contracția transversală unitară şi alungirea axială unitară.

etanşare. Datorită elasticităţii ridicate, se mai utilizează la fabricarea tălpilor de încălţăminte pentru atleţi sau a mingilor de pelotă (sport tradiţional din Ţara Bascilor).

În practică, se utilizează ca matrice următorii elastomeri:

- *cauciucul natural* (NR) se obţine din arborele de cauciuc (*Hevea brasiliensis*) , sub forma unui suc lăptos de culoare albă-gălbuie, numit latex care se coagulează şi se usucă, obţinându-se cauciucul brut. Acesta are proprietăţi mecanice slabe, se dizolvă în solvenţii organici şi datorită acestor cauze nu se poate utiliza în industrie. Pentru obţinerea unor proprietăţi fizico-mecanice corespunzătoare, cauciucul brut se vulcanizează, prin amestecare cu 2…12% sulf şi încălzire la 120…150 ^oC.

La prepararea cauciucului industrial se mai utilizează acceleratori de vulcanizare pentru reducerea duratei şi coborârea temperaturii de vulcanizare (ZnO, P_2O_5), ingrediente active pentru creşterea rezistenţelor la rupere şi uzură (negru de fum, $MnCO_3$), ingrediente pasive pentru reducerea costului (cretă, baritină, talc), plastifianţi pentru îmbunătăţirea capacităţii de prelucrare (acid stearic, parafină, acid oleic), antioxidanţi pentru împiedicarea îmbătrânirii (amine şi diamine aromatice), coloranţi şi cauciuc regenerat. Acesta are rezistenţă la oboseală ridicată, elasticitate şi rezistenţă bună la abraziune, absoarbe puţină umiditate şi se umflă în ulei mineral, unsori şi gazolină. Se poate utiliza până la 80 ^oC;

- *cauciucul sintetic* (IR) se obţine prin polimerizarea unor monomeri nesaturaţi cu două duble legături (izopren, butadienă, cloropren, metilpropenă) cu sau fără adaosuri de alţi derivaţi nesaturaţi. Aceşti monomeri sunt amestecaţi în diferite proporţii şi copolimerizaţi, în funcţie de caracteristicile fizice, mecanice sau chimice pe care trebuie să le îndeplinească produsul obţinut;

- *cauciucul stiren-butadienă* (SBR) se obţine prin copolimerizarea stirenului şi butadienei şi are rezistenţele la abraziune şi la îmbătrânire mai bune ca ale cauciucului natural, se utilizează până la 100 ^oC, dar este mai puţin elastic;

- *cauciucul policloroprenic* (CR) se obţine prin polimerizarea cloroprenului şi rezistă mai bine la umezeală, la ulei, la unsori şi la ozon decât cauciucul natural, dar este mai puţin elastic şi este atacat de apa fierbinte şi de combustibili;

- *cauciucul acronitril-butadienă* (NBR) sau *cauciucul nitrilic* se obţine prin copolimerizarea nitrilului acrilic şi butadienei şi este rezistent la abraziune şi îmbătrânire, foarte rezistent la uleiuri şi hidrocarburi alifatice, dar este mai puţin elastic şi nu rezistă la temperaturi scăzute şi la acţiunea lichidului de frână;

- *cauciucul butilic* (IIR) se obţine prin copolimerizarea izobutadienei şi izoprenului, are o mică permeabilitate la gaze şi caracteristici de izolare electrică foarte bune, rezistă la vapori fierbinţi şi la apă, rezistă la îmbătrânire, dar are elasticitate scăzută şi nu rezistă la uleiuri, unsori şi combustibili.

B) – Matricele metalice reprezintă circa 10% din matricele utilizate la fabricarea materialelor compozite şi au apărut la începutul anilor 1960 în SUA şi Franţa, cu aplicaţii în industria aerospaţială. În anii 1980, japonezii le-au aplicat la fabricarea automobilelor. Fabricarea compozitelor cu matrice metalice este destul de dificilă, având în vedere asigurarea coeziunii acestora cu fibrele de ranforsare.

Matricea trebuie adusă în stare lichidă sau semisolidă, astfel încât să aibă fluiditatea necesară infiltrării şi, în acelaşi timp, să aibă o temperatură care să nu deterioreze fibrele de ranforsare şi să nu reacționeze metalurgic cu ele.

Matricele metalice sunt ductile şi tenace, rezistă la uzură şi la temperaturi mari (până la 600 ^{o}C) şi la acțiunea solvenților, având în general proprietățile fizico-mecanice şi chimice specifice materialelor metalice. În acelaşi timp, ele sunt mai scumpe şi mai grele şi prezintă pericolul reacționării cu fibrele de ranforsare prin solubilizare, ceea ce conduce la apariția unor compuşi intermetalici fragili care antrenează dezlipirea interfeței. Cele mai răspândite matrice metalice sunt aluminiul, magneziul, titanul şi aliajele acestora.

a) – Aluminiul este materialul cel mai folosit ca matrice metalică datorită densității mici şi prețului accesibil. El se foloseşte pentru fabricarea compozitelor armate cu fibre de bor şi carbon, SiC, B_4C, ZrO_2 şi kevlar, utilizate în industria aerospațială şi la motoarele de automobile.

b) – Magneziul este cu 55% mai uşor decât aluminiul, are stabilitate chimică, precum şi un coeficient de dilatare stabil într-un interval mare de temperaturi. Se utilizează la fabricarea compozitelor armate cu fibre de carbon, bor sau SiC.

c) – Titanul este un metal uşor, cu temperatură înaltă de topire (1668 ^{o}C), proprietăți mecanice foarte bune şi stabilitate chimică, dar este scump. Se foloseşte la fabricarea compozitelor armate cu fibre de bor şi SiC.

C) – Matricele ceramice reprezintă circa 15% din matricele folosite la fabricarea compozitelor şi se utilizează datorită unor proprietăți specifice: rezistență la temperatură (până la 2000^{o} C), rigiditate, duritate şi stabilitate chimică. Fibrele de adaos au ca scopuri îmbunătățirea tenacității compozitelor, precum şi a rezistenței lor la şocuri termice.

Dezavantajele matricelor ceramice sunt fragilitatea ridicată şi prelucrarea dificilă. Ele sunt transformate în pulberi foarte fine, cu ajutorul plasmei sau prin depunerea chimică din fază de vapori, iar din micropulberi se obțin paste. În acest scop, se utilizează o gamă largă de oxizi simpli sau complecşi, nitruri, carburi, siliciuri sau boruri (Al_2O_3, SiC, Si_3N_4, BN, B_2O, ThO_2, ZrO_2, TiC).

Materialele compozite cu matrice ceramice sunt scumpe şi se utilizează în domenii de înaltă tehnicitate şi la temperaturi ridicate (construcții aerospațiale şi nucleare, aplicații militare, frâne ceramice).

În tabelul 10.2 sunt prezentate caracteristicile fizico-mecanice ale principalelor matrice care intră în componența materialelor compozite.

10.2.3. Materiale compozite structurale

Materialele compozite structurale cuprind compozitele stratificate şi compozitele sandviş, utilizându-se îndeosebi în construcțiile aerospațiale care trebuie să fie rezistente şi uşoare.

10.2.3.1. Materialele compozite stratificate sunt formate din mai multe straturi de materiale cu proprietăți anizotrope care formează un tot unitar (fig.10.6). Exemplul cel mai la îndemână îl constituie vasele emailate. Emailul este

Tabelul 10.2. **Proprietăți fizico-mecanice ale matricelor**

Materialul matricei		Simbol	Caracteristica						
			Masa volumică [kg/m^3]	Modulul de elasticitate longitudinal [MPa]	Modulul de forfecare [MPa]	Coeficientul lui Poisson	Rezistența de rupere la tracțiune [MPa]	Alungirea la rupere [%]	Coeficientul de dilatare termică [$^oC^{-1}$]
Materiale termoreactive	Răşină poliesterică	UP	1300	3800	1400	0,4	88	2,5	$8 \cdot 10^{-5}$
	Răşină vinilesterică	VE	1150	3300		0,35	75	4	$5 \cdot 10^{-5}$
	Răşină epoxidică	EP	1200	4500	1600	0,4	130	2	$11 \cdot 10^{-5}$
	Silicon	SI	1550	2200		0,5	35	100	
	Răşină fenolică	PF	1350	3000	1100	0,36	70	2,5	$1 \cdot 10^{-5}$
	Răşină poliuretanică	PU	1100	700-7000			30	100	
	Răşină poliimidică	PI	1300	4000-19000	1100	0,35	70	1	$8 \cdot 10^{-5}$
Materiale termoplaste	Polipropilenă	PP	900	1200		0,4	30	20-400	$9 \cdot 10^{-5}$
	Polisulfonă	PSU	1300	4000			65	100	$5 \cdot 10^{-5}$
	Poliamidă	PA	1100	2000		0,35	70	200	$8 \cdot 10^{-5}$
	Polietersulfonă	PES	1350	3000			85	60	$6 \cdot 10^{-5}$
	Polieterimidă	PEI	1150	3300			105	60	$6 \cdot 10^{-5}$
	Polieteretercetonă	PEEK	1300	4000			90	50	$5 \cdot 10^{-5}$
Metale	Aluminiu	Al	2360	69000		0,33	358	23	
	Magneziu	Mg	1660	42000		0,30	280	25	
	Oțel	XC10	7850	210000		0,29	1000	10	

format dintr-un amestec de oxizi şi silicați care, în prezența unor fondanți (sodă, borax), se topeşte şi se toarnă într-un strat sau în mai multe straturi pe vasele din fontă sau tablă din oțel, la 900 °C şi se întăreşte vitros. Legătura email-metal necesită aderență bună şi coeficienți de dilatare termică apropiată. Pentru creşterea aderenței se adaugă oxizi de fixare (CoO şi NiO), iar pentru evitarea apariției tensiunilor de întindere declanşatoare de fisuri, coeficientul de dilatare termică al emailului trebuie să fie puțin mai mic decât cel al metalului, ceea ce asigură formarea unor tensiuni de compresiune. Componentele materialului structural preiau funcțiuni diferite: metalul asigură rezistența mecanică, iar emailul, rezistența la coroziune şi aspectul decorativ.

Materialul compozit stratificat (fig.10.6) este alcătuit din mai multe plăci orientate diferit, între care se introduc răşini termoreactive şi prin încălzire şi presare sau laminare se obține produsul dorit. Fibrele unei plăci pot fi orientate perpendicular față de cele ale plăcii anterioare sau sub alte unghiuri, astfel că materialul compozit prezintă o mare rezistență la acțiunea forțelor exterioare.

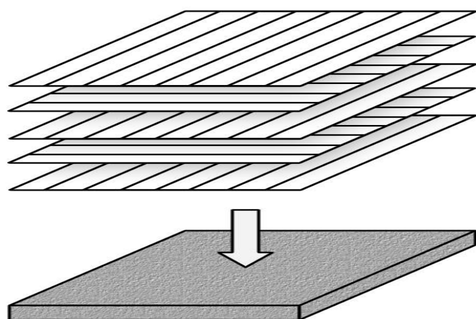
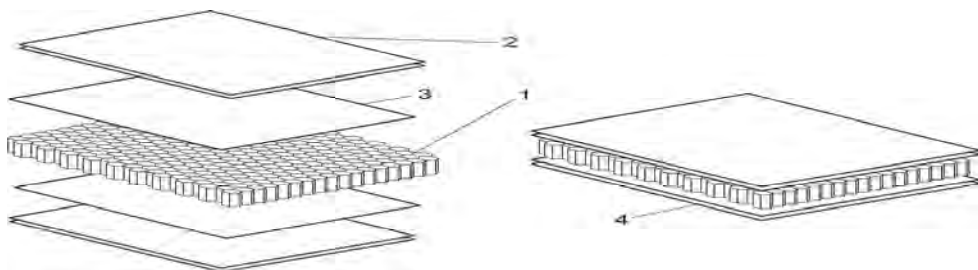


Fig. 10.6. Reprezentarea unui compozit stratificat.

10.2.3.2. Materialele compozite de tip sandviş sunt alcătuite din două straturi de material foarte rezistent, între care este intercalată o inimă de material cu densitate, rezistență şi rigiditate mici. Straturile sau fețele exterioare, fabricate din aliaje de aluminiu, răşini ranforsate cu fibre, oțel sau titan, preiau sarcinile exterioare, iar inima, din materiale polimerice celulare, cauciuc sintetic sau lemn de balsa (lemn foarte uşor provenit dintr-un arbore tropical), se opune deformațiilor şi forțelor de forfecare perpendiculare pe cele două fețe. Rezultă astfel un material foarte uşor, cu densitatea de circa 100 kg/m^3, flexibil şi lejer care este şi un foarte bun izolator termic şi fonic.

S-au realizat, de asemenea, şi materiale compozite de tip sandviş cu inimă alveolară (fig.10.7). Alveolele *1* sunt construite din hârtie impregnată cu răşini, po-



10.7. Compozit de tip sandviş cu inimă alveolară.

limeri ranforsaţi cu fibre de sticlă sau aliaje de aluminiu. Feţele *2* se lipesc de alveole cu straturile de adeziv *3*. Alveolele sunt asemănătoare fagurilor din stupi, având forme hexagonale sau rombice. Se obţine astfel produsul *4*, utilizat în construcţii navale şi aeriene (pereţi interiori, punţi şi planşee), pentru protecţia contra razelor *X* şi undelor radio, precum şi în aplicaţii militare (avioane „invizibile” şi dragoare de mine care nu pot fi detectate cu radarele).

Aceste proprietăţi se obţin printr-o alegere riguroasă a materialelor componente, precum şi prin utilizarea elementelor de calcul finit în asocierea şi îmbinarea acestora.

10.2.4. Alte tipuri de materiale compozite

10.2.4.1. Lemnul este un material compozit natural, cu structură complexă, alcătuită din 40…50% fibre de celuloză, 20…30% lignină, 15…25% hemiceluloză şi din alte substanţe organice (polizaharide, răşini, tananţi, coloranţi, ceară, alcaloizi). Fibrele de celuloză constituie materialul de ranforsare, iar lignina este matricea care încorporează fibrele şi vasele capilare, făcându-le impermeabile, inextensibile şi rigide. Hemiceluloza este un amestec complex de polizaharide şi gume vegetale care reacţionează cu apa.

Proprietăţile fizico-mecanice ale lemnului depind de esenţă, grad de uscare, vârstă şi locul ocupat în tulpină. El are o rezilienţă bună, este rezistent la tracţiune şi la compresiune, elastic, uşor, bun izolator termic şi electric, se prelucrează uşor şi are un aspect estetic. În acelaşi timp, are o structură neomogenă, este atacat de ciuperci şi de insectele xilofage (cari şi termite), are rezistenţe mici la forfecare şi la despicare şi se aprinde uşor.

Lemnul se poate utiliza atât în stare naturală, cât şi sub formă de produse obţinute prin diverse procedee. Lemnul brut se utilizează pentru foc, în construcţii, în minerit, pentru traverse de cale ferată, la fabricarea celulozei şi pentru chimizare, sub formă de lemn rotund (bile, manele, stâlpi, lemn rotund de mină, piloţi, bulumaci), cherestea (scânduri, dulapi, şipci, rigle, grinzi) şi material lemnos pentru pardoseli (duşumele, frize, parchet). Ca materiale prelucrate se utilizează furnirul, placajul, parchetul stratificat, panelul, plăcile aglomerate şi plăcile fibrolemnoase.

a) - Furnirul este o foaie de lemn cu grosimea de 0,2…6 mm care se obţine prin tăierea plană (fig.10.8.a) sau prin rotirea unui butuc în faţa unui cuţit care este paralel cu axa butucului (fig.10.8.b).

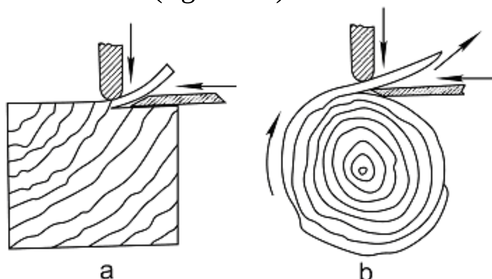


Fig. 10.8. Metode de fabricare a furnirului.

Pentru fabricarea furnirelor, buştenii sunt supuşi unor operații de secționare cu ferăstraie, cojire şi tratare termică prin încălzire cu aburi, pentru mărirea elasticității. De obicei, pentru fabricarea furnirului, se întrebuințează esențe nobile: lemn de trandafir, nuc, mahon, stejar, frasin, platan etc. El se utilizează la placarea mobilei confecționate din conifere sau plop, formând desene, imagini sau motive diverse. Pentru lipire se folosesc cleiuri de albumină sau cazeină, precum şi răşini sintetice.

b) - Placajul este un semifabricat obținut prin îmbinarea unui număr impar de foi de furnir care se suprapun astfel încât direcția fibrelor unei plăci să fie perpendiculară pe direcția fibrelor plăcii următoare. Această aşezare a plăcilor conferă placajului proprietăți deosebite: rezistențe foarte bune la întindere şi la despicare, nu se umflă sub acțiunea umezelii şi nu crapă sub acțiunea căldurii.

Plăcile de furnir din care se confecționează placajul au grosimi între 0,5 şi 2 mm şi se încleiază cu diverşi adezivi (răşini fenolformaldehidice, melamină, resorcină), pe maşini de încălzit şi presat. El se utilizează în construcții şi pentru amenajări interioare. Pentru destinații speciale se fabrică placaj armat, prin intercalarea între foile de furnir a unor țesături textile sau metalice, sau placaj blindat, prin acoperirea acestuia cu plăci metalice. Placajul blindat se utilizează la fabricarea caroseriilor, ambarcațiilor şi planoarelor.

c) - Parchetul stratificat este alcătuit din trei plăci de lemn, cu grosimea totală de 15…20 mm, care se suprapun şi se încleiază, astfel încât direcțiile fibrelor lemnoase să alterneze. Plăcile inferioare sunt din răşinoase, iar cea superioară, din esențe nobile (stejar, salcâm, nuc, cireş, mahon, tec). Parchetul se montează uşor, printr-o îmbinare nut şi feder şi este finisat cu lac poliacrilic, rezistent la umezeală şi la uzură.

d) - Panelul este un semifabricat alcătuit dintr-un miez de şipci acoperite pe ambele fețe, prin încleiere, cu câte o placă de furnir, aşezate cu fibrele perpendiculare pe direcția fibrelor miezului. Şipcile pot fi neîncleiate pe suprafețele lor de contact, încleiate parțial sau total. Se utilizează la confecționarea pereților interiori ai autovehiculelor, vagoanelor şi navelor.

e) - Plăcile aglomerate din lemn (***PAL***) au fost obținute întâmplător, în 1966, în SUA, ca urmare a unui incident tehnic. Ele se obțin prin presarea la cald a aşchiilor de foioase sau răşinoase, cu dimensiuni de 5…40 mm, care provin din arbori ce nu se pot valorifica prin alte procedee. Aşchiile se amestecă intim cu adezivi (uree-formol sau melamină-formol), precum şi cu substanțe ignifuge, hidrofuge sau insecticide. Plăcile pot fi furniruite, emailate sau melaminate şi se utilizează pentru amenajări sau decorațiuni interioare, precum şi în industria mobilei. Ele sunt mai ieftine decât lemnul natural, au proprietăți izotrope (uniforme în toate direcțiile), un aspect plăcut şi se livrează la diverse grosimi.

f) - Plăcile fibrolemnoase (***PFL***) sunt materiale obținute prin presarea unor fascicule de fibre vegetale, rezultate prin defibrilarea mecanică sau semichimică a lemnului de esență moale, împâslite şi încleiate cu 5% adezivi. Plăcile au aspect omogen, bune proprietăți mecanice, de izolare termică şi fonică şi o sensibilitate mai redusă față de apă. Ele se pot înnobila prin emailare, lăcuire sau melaminare.

10.2.4.2. Betonul este un material de construcţii compozit, obţinut prin amestecarea unor agregate (nisip, pietriş, piatră spartă) cu lianţi (ciment, bitum) şi cu apă şi care, după întărire, capătă aspect de piatră artificială. Betonul are o densitate mare şi este foarte compact, pentru că spaţiile dintre particulele mai mari sunt ocupate de particule mai mici, iar cele rămase sunt ocupate de ciment. De obicei, agregatele reprezintă 80% din masa betonului, cimentul 20%, iar apa, 25% din greutatea cimentului. Apa este necesară reacţiei de hidratare a cimentului, iar în timpul întăririi betonului, ea se evaporă, lăsând pori şi canale capilare. După 7 zile de priză, betonul are 75% din rezistenţa mecanică finală, iar după 28 de zile, 80%. Viteza de întărire poate fi accelerată prin încorporarea unor aditivi (1,5…3% clorură de calciu), prin folosirea unui ciment aluminos sau ridicând temperatura în timpul întăririi la 50…90 ^{o}C.

Betonul a fost cunoscut în antichitate, romanii fabricându-l din oxid de calciu, cenuşă vulcanică şi piatră ponce. Secretul fabricării acestuia s-a pierdut timp de 13 secole, până în 1756, când inginerul britanic John Smeaton[5] l-a redescoperit şi l-a utilizat la construcţia unui far, folosind blocuri de granit. Pornind de la această realizare, constructorul englez Joseph Aspdin[6] a inventat, în 1824, cimentul Portland care se foloseşte şi astăzi la fabricarea betonului.

Principala proprietate mecanică a betonului este rezistenţa la compresiune care variază între 25…50 MPa, în cazul betoanelor produse pe şantier, şi 200…500 MPa, în cazul betoanelor cu înalte performanţe, fabricate în laborator. Rezistenţa la tracţiune este scăzută, reprezentând doar 10…15% din rezistenţa la compresiune. Modulul de elasticitate este bun (30…50 GPa), coeficientul de dilatare termică este mic, iar conductibilitatea termică, slabă. Din punct de vedere chimic, este atacat de apa de mare, de bioxidul de carbon şi de unele bacterii anaerobe. Betonul este materialul cel mai folosit în lume, producţia mondială fiind de circa 7,5 km^3/an, ceea ce înseamnă peste un metru cub pentru fiecare locuitor al Pământului.

Clasificarea betoanelor se face după criteriile prezentate în fig. 10.9.

a) - Betonul simplu se utilizează pentru realizarea elementelor de construcţii supuse la compresiune, cum sunt fundaţiile sau postamentele pentru maşini şi instalaţii, caracterizându-se printr-o rezistenţă mică la întindere.

b) – Betonul armat este un material compozit care îmbină rezistenţa la compresiune a betonului cu rezistenţa la tracţiune a oţelului. Oţelul aderă bine la beton, aderenţa putând fi mărită prin profilarea suprafeţei sale. El este protejat contra coroziunii printr-o încastrare adecvată în beton.

Betonul armat se utilizează în construcţii (grinzi, stâlpi, planşee), la realizarea digurilor, barajele şi zidurilor de sprijin, precum şi a stâlpilor de iluminat şi pentru transportul energiei electrice. Se mai utilizează la construcţia podurilor, silozurilor, rezervoarelor şi a altor construcţii industriale.

---

[5]*John SMEATON* (1724 - 1792) – inginer mecanic şi fizician englez, părintele ingineriei civile. A proiectat şi construit poduri, canale, faruri şi porturi şi a efectuat cercetări în domeniul hidraulicii şi al motoarelor cu aburi.

[6]*Joseph ASPDIN* (1778 - 1855) – constructor britanic care a obţinut brevetul pentru cimentul Portland la 21 octombrie 1824, fabricat prin calcinarea unui amestec de calcar şi argilă, calcarul fiind extras dintr-o carieră aflată în peninsula Portland de la Marea Mânecii.

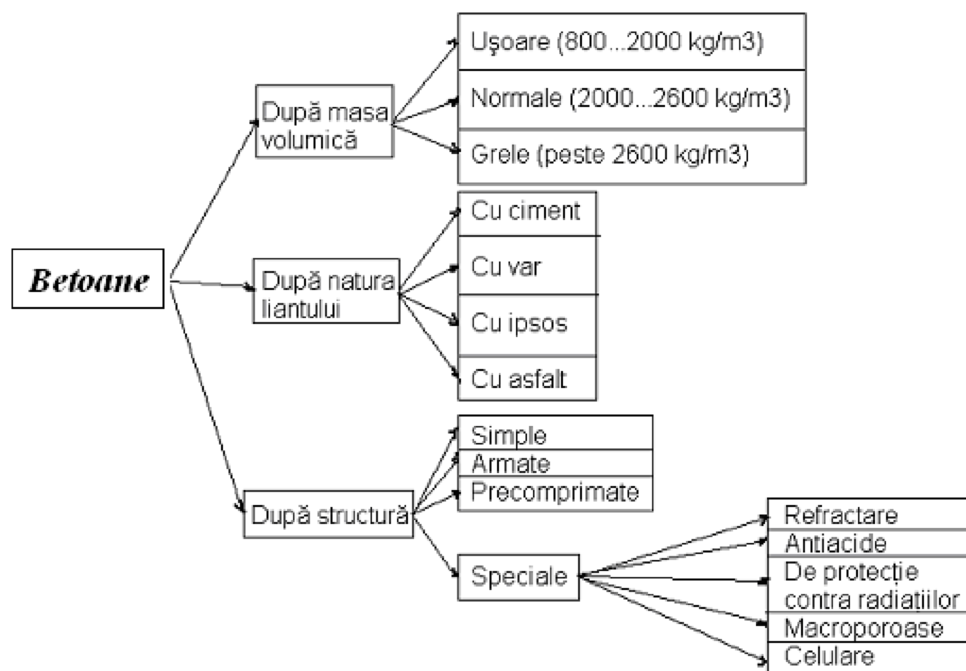


Fig.10.9. Clasificarea betoanelor.

c) – Betonul precomprimat este un beton armat cu cabluri, vergele sau corzi, întinse şi ancorate la capetele elementelor care creează o stare permanentă de compresiune a betonului, superioară solicitărilor ulterioare de întindere. În felul acesta, eforturile de întindere sunt anulate sau mult micşorate. Ideea a fost pusă în practică în 1928 de inginerul francez Eugène Freyssinet[7] şi astăzi se aplică îndeosebi în construcția podurilor şi grinzilor cu deschideri mari.

d) – Betonul bituminos este alcătuit din pietriş mărunt (mărgăritar), nisip şi filer (praf de calcar şi var stins), având ca liant bitumul. El se foloseşte ca strat de uzură pentru asfaltul şoselelor şi se toarnă la 150 ^{o}C, efectul de priză manifestându-se când temperatura lui scade sub 90 ^{o}C. Atunci se realizează compactizarea cu ajutorul unui cilindru-compresor. Întrucât bitumul este atacat de hidrocarburile care constituie combustibilii autovehiculelor, locurile expuse acestora sunt asfaltate cu un beton în care bitumul este înlocuit cu gudron. Betonul cu gudron, numit şi *tarmacadam*, se foloseşte şi pe aeroporturi.

e) – Betoanele speciale se folosesc în construcții cu condiții speciale de funcționare (temperaturi ridicate, medii acide sau radioactive) sau ca izolatoare termice şi fonice. Acestea sunt:

- *betonul refractar* este alcătuit din agregate refractare şi ciment aluminos şi îşi păstrează, în anumite limite, proprietățile fizico-mecanice şi la temperaturi

[7] *Eugène FREYSSINET* (1879 - 1962) – inginer francez constructor de poduri, viaducte, baraje şi biserici. În 1928 a patentat betonul precomprimat utilizat la construcția stâlpilor pentru transportul energiei electrice.

înalte (până la 1800 ^oC), utilizându-se la construcţia agregatelor termice, cazanelor, coşurilor de fum şi a altor construcţii care funcţionează la temperaturi ridicate;

- *betonul antiacid* este rezistent la acţiunea acizilor anorganici, înlocuind materialele antiacide scumpe şi deficitare (plumb, ceramică antiacidă, piatră naturală);

- *betonul de protecţie contra radiaţiilor* este un beton greu a cărui densitate poate ajunge la 6000 kg/m^3 şi care se utilizează contra razelor γ şi neutronilor, folosindu-se la reactoarele nucleare şi la adăposturile antiatomice;

- *betonul macroporos* este un beton cu agregate compacte sau poroase, fără nisip, iar cantitatea de ciment şi apă se dozează astfel încât fiecare granulă să fie învelită cu o peliculă fină de ciment, fără ca golurile dintre granule să fie umplute, utilizându-se la realizarea straturilor termoizolatoare sau ca material de umplutură;

- *betonul celular* este un beton uşor (400 kg/m^3) care conţine substanţe spumogene şi generatoare de gaze, astfel încât să rezulte o structură cu o mare cantitate de pori (până la 80% din volum). Conductibilitatea termică a betoanelor celulare este scăzută, ca de altfel şi rezistenţa la compresiune, astfel că ele nu se pot utiliza în structuri de rezistenţă, ci numai la zidării despărţitoare sau ca elemente termoizolatoare pentru placarea pereţilor camerelor frigorifice.

10.3. Prelucrarea materialelor compozite

Prelucrarea materialelor compozite în piese sau semifabricate se face prin mai multe procedee, ţinând cont de proprietăţile fizico-mecanice, chimice sau tehnologice ale acestora, precum şi de natura matricelor şi felul materialelor de ranforsare: formare manuală, turnare, laminare, presare şi înfăşurare.

10.3.1. Formarea manuală

Formarea manuală este cea mai veche tehnologie de prelucrare a materialelor compozite, aplicându-se şi astăzi la piese de dimensiuni mari, precum şi în producţia de serie mică şi de unicate, când nu se justifică investiţii iniţiale mari: subansambluri pentru avioane (aripi, ampenaje, mobilier), panouri şi mobilier pentru vagoanele de călători, capote de automobile, învelişuri exterioare pentru ambarcaţiuni.

10.3.1.1. Formarea manuală prin contact (fig.10.10) constă în reali-

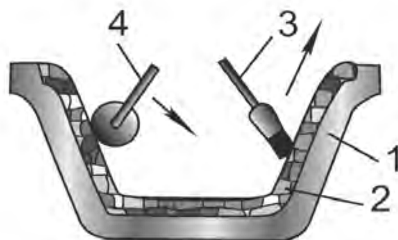


Fig. 10.10. Formarea manuală prin contact.

zarea unei matrițe *1* din ipsos, lemn moale, material plastic sau aliaje metalice uşoare, cu suprafața foarte curată, care se acoperă cu un strat subțire de vaselină, pentru a permite decofrarea uşoară a piesei. Piesa *2* se formează prin aplicarea unor straturi suprapuse de materiale de ranforsare şi răşini, cu ajutorul pensulei de impregnare *3* şi al rolei *4*. Operația se repetă până se obține grosimea dorită. Pentru accelerarea întăririi se pot folosi radiații infraroşii, fără însă a depăşi 60…80 ^oC.

Procedeul este neproductiv şi costisitor, dar singurul care se poate aplica în cazul unor piese de dimensiuni mari şi cu forme complicate. Pentru înlăturarea prelucrărilor mecanice ulterioare, matrița deschisă *1* trebuie prevăzută cu toate elementele geometrice care să asigure forma finală a piesei: nervuri, cavități, orificii şi raze de racordare.

10.3.1.2. Formarea manuală prin stropire (fig.10.11) înlătură consumul mare de muncă al formării prin contact şi se realizează mai rapid. Materialul compozit (armătură, matrice, accelerator şi stabilizator) este adus cu o pompă în pulverizatorul *1*, în care intră şi aerul comprimat necesar pulverizării. Matrița *2*, aşezată pe masa *3* poate executa şase mişcări (s_x, s_y, s_z, ω_x, ω_y, ω_z), astfel încât stropirea să se realizeze în condiții cât mai bune. Matrița se acoperă inițial cu o peliculă decofrantă de vaselină, iar piesa *4* se obține din mai multe straturi de material compozit. Armătura este alcătuită din particule, fulgi sau fibre tocate, iar matricea este un polimer fluid. În amestec se mai introduc acceleratori, pentru stimularea reacțiilor de polimerizare, stabilizatori pentru protecție la oxidare, la lumină şi pentru ignifugare, precum şi materiale de umplutură, pentru scăderea prețului materialului compozit.

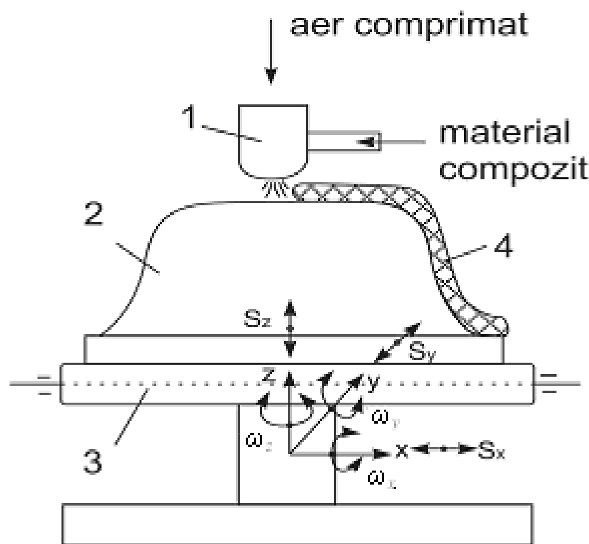


Fig.10.11. Formarea manuală prin stropire.

Metoda este mai productivă decât precedenta, putând fi automatizată, dar are şi ea dezavantajul că nu se poate obține o grosime uniformă a pereților piesei.

10.3.2. Turnarea

Turnarea este procedeul tehnologic de obţinere a pieselor prin solidificarea materialului metalic compozit în cavitatea unei forme. În practică, se întâlnesc mai multe metode de turnare.

10.3.2.1. Turnarea în forme temporare din amestec de formare este metoda cea mai simplă de obţinere a pieselor şi constă în introducerea topiturii compozite în cavitatea unei forme (fig.10.12.a). Turnând aliajul topit prin canalul *1,* cavitatea formei *2* se umple, aerul fiind evacuat prin canalul *3*. Miezul *4* se foloseşte pentru obţinerea golului în piesă. Semiforma inferioară *5* se asamblează cu semiforma superioară *6* cu ajutorul bolţurilor *7*. Greutatea *8* are rolul de a anihila presiunea formată în timpul turnării, prevenind ridicarea semiformei superioare. După solidificarea topiturii compozite, forma se distruge şi se recuperează piesa *9* (fig.10.12.b).

Amestecul de formare este alcătuit din 94…95% nisip cuarţos fin şi 5…6% silicat de sodiu care constituie liantul ce se întăreşte prin insuflare de CO_2. Cavitatea formei se acoperă cu o peliculă de răşină refractară pentru creşterea calităţii suprafeţei piesei şi a preciziei dimensionale a acesteia.

Metoda se utilizează pentru turnarea unicatelor sau în producţia de serie mică.

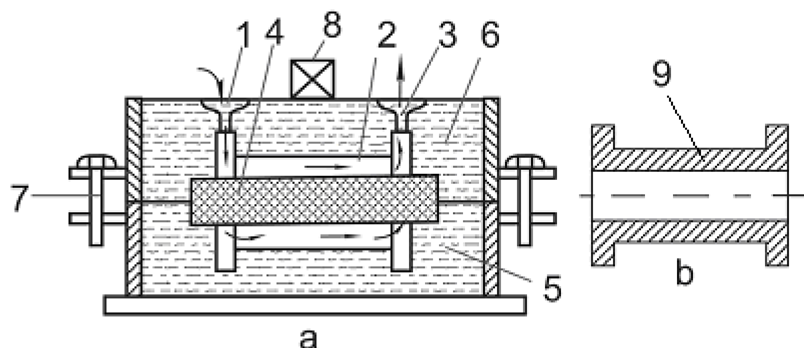


Fig.10.12. Turnarea în forme temporare din amestec de formare.

10.3.2.2. Turnarea în forme-coji (fig.10.13) conduce la o calitatea a suprafeţelor şi o precizie dimensională apropiate de cele ale piesei finite. Forma-coajă are 4…8 mm grosime şi este confecţionată din nisip cuarţos fin, având ca liant bachelita. Ea este alcătuită din semiformele superioară *1* şi inferioară *2*, lipite la planul de separaţie (fig.10.13.a). Topitura compozită se toarnă prin pâlnia *3.* Formele-coji asamblate se împachetează în cutii metalice care conţin nisip cuarţos cu granulaţie mare, pentru evitarea distrugerii lor în timpul turnării. După împachetare urmează turnarea, dezbaterea şi curăţarea pieselor. Dezbaterea se face uşor, deoarece liantul termoreactiv arde în timpul turnării metalului topit, astfel că granulele de nisip se îndepărtează de pe piesa *4* (fig.10.13.b) prin simplă scuturare.

Metoda se utilizează în producţia de serie mică, pentru piese de dimensiuni şi greutăţi mici.

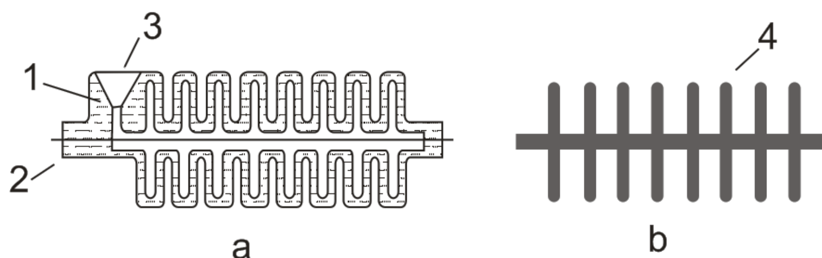


Fig.10.13. Turnarea în forme-coji.

10.3.2.3. Turnarea centrifugă (fig.10.14) se aplică atât compozitelor cu matrice metalică (bucşe, pistoane, inele, discuri), cât şi celor cu matrice plastică (recipiente, tuburi, conducte), rezultând piese cu o structură densă, fără pori şi sufluri.

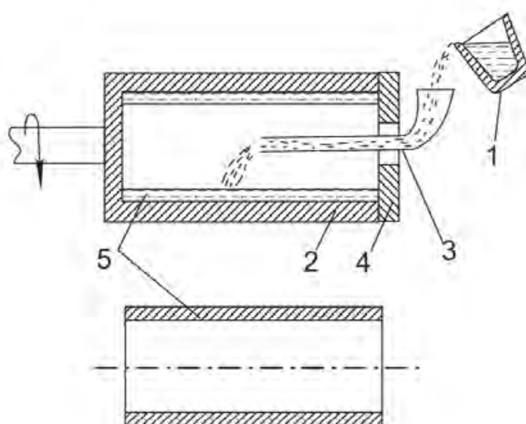


Fig.10.14. Turnarea centrifugă.

Materialul compozit se toarnă din oala *1* în forma metalică *2* prin intermediul pâlniei *3*. Forma este închisă cu flanşa demontabilă *4* care nu permite curgerea materialului în exterior. Piesa *5* poate fi ranforsată cu țesături sau împletituri din fibre de sticlă, carbon sau kevlar, în cazul în care matricea este o răşină. În acest caz, pâlnia *3* este înlocuită cu o conductă perforată prin care se trimite sub presiune răşina fluidizată, în amestec cu elemente de catalizare şi acceleratori de reacție.

Forma metalică este rotită (n = 1500…2000 rot/min), astfel că materialul topit ia forma matriței. Metoda se utilizează în producția de serie mare, dar nu este prea răspândită, din cauza proprietăților mecanice destul de slabe ale pieselor obținute.

10.3.2.4. Turnarea sub presiune este un procedeu modern care permite obținerea unor piese complexe cu pereți subțiri, ce nu pot fi realizate prin alte procedee de turnare. Viteza mare de curgere, presiunea înaltă de formare şi

solidificarea rapidă a compozitului permit obţinerea unor piese cu armătură dispersată uniform în masa matricei metalice, ceea ce face ca rezistenţa materialului compozit să crească cu 25…45%. De asemenea, calitatea suprafeţelor şi precizia dimensională a pieselor sunt foarte bune, astfel că de multe ori nu mai sunt necesare prelucrări mecanice ulterioare.

În fig.10.15 este prezentată schema de principiu a turnării sub presiune. Compozitul din vasul *1* este menţinut în stare topită cu ajutorul rezistenţelor electrice *2*. La cursa ascendentă a pistonului *4*, supapa *5* se deschide şi în cilindrul *3* este admis compozit topit. Acţionarea pistonului *4* se face cu cilindrul hidraulic cu dublu efect *6*. La cursa de lucru a pistonului *4*, lichidul din camera *3* este trimis sub presiune (p = 100…1500 daN/cm^2) prin canalele *7* în cochiliile *8*, ataşate instalaţiei. Cochiliile sunt supuse la solicitări grele şi de aceea se confecţionează din oţel refractar şi au suprafeţele active cromizate sau niturate. Ele sunt prevăzute cu canale pentru circulaţia apei de răcire, deoarece ritmul ridicat al turnării (250…1000 piese/oră) necesită răcire forţată.

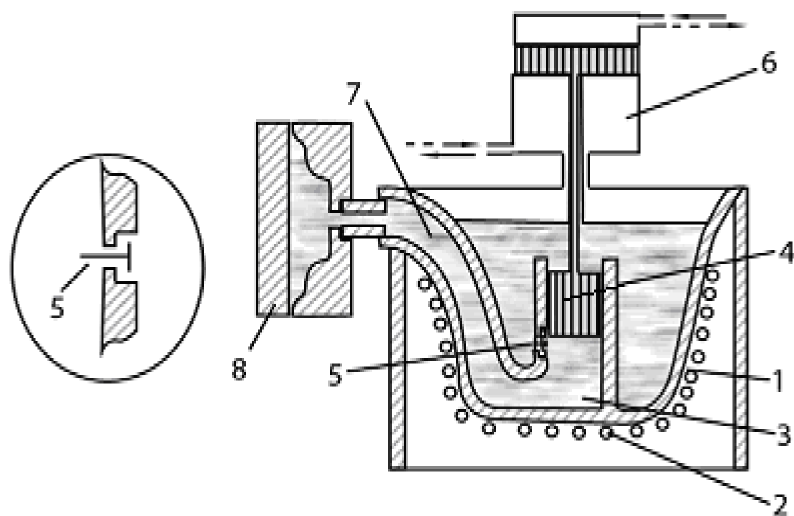


Fig.10.15. Turnarea sub presiune.

Turnarea sub presiune se aplică în producţia de serie mare şi de masă, permiţând obţinerea unor piese cu proprietăţi mecanice foarte bune, la un preţ de cost scăzut.

10.3.2.5. Turnarea continuă este un procedeu modern care constă în obţinerea unor profiluri apropiate de forma finală sau chiar în formă finală. Fluxul se desfăşoară în plan vertical (fig.10.16.a) sau poate fi deviat în plan orizontal (fig.10.16.b), pentru ca instalaţia să nu aibă înălţime prea mare. În ambele cazuri, din oala de turnare *1*, oţelul curge în rezervorul-tampon *2*, iar de aici în cristalizatorul *3*. În cristalizator care este construit din cupru cromat şi are pereţii dubli, răciţi intens cu apă şi o conicitate de circa 1%, materialul compozit se solidifică la exterior, formând o coajă care îi permite să fie deplasat în jos, fiind

extras cu rolele *4*. Pentru accelerarea solidificării, se folosesc duzele de răcire cu apă *5*. Pentru reducerea înălțimii instalației, rolele de curbare *6* deviază semifabricatul pe orizontală. Când semifabricatul a atins o anumită lungime este debitat, utilizându-se foarfeca mecanică *7*.

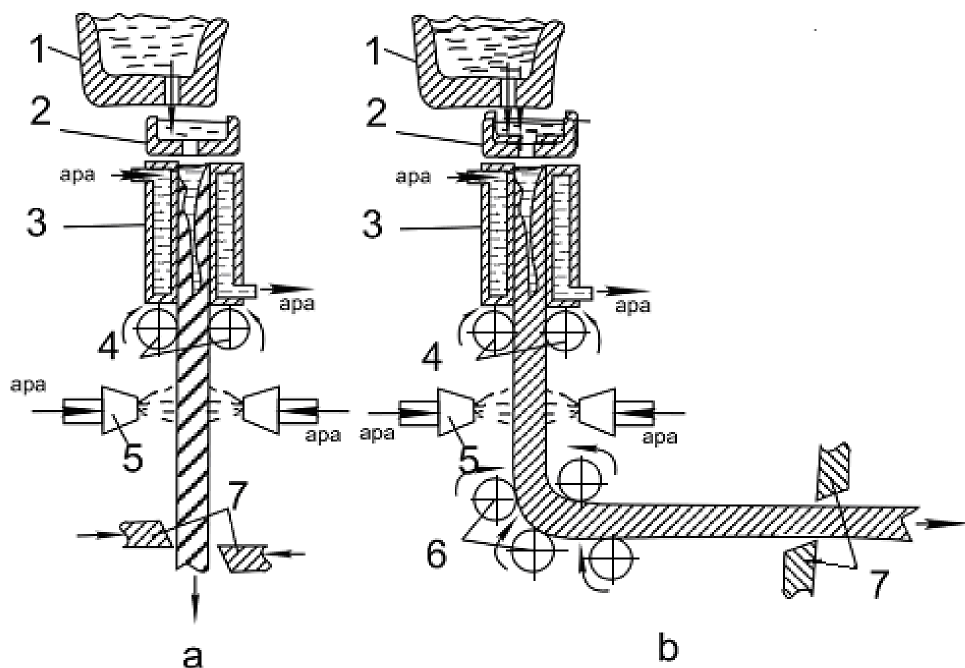


Fig.10.16. Turnarea continuă.

Profilul exterior al semifabricatului depinde de forma geometrică a cristalizatorului. Pe lângă diverse forme de profiluri, se pot obține şi țevi.

10.3.3. Laminarea

Laminarea este procedeul tehnologic de prelucrare prin deformare plastică, la cald sau la rece, care constă în trecerea forțată a materialului printre doi cilindri care se rotesc în sensuri opuse. Materialele compozite prelucrate prin laminare au matrice metalice, plastice sau ceramice şi sunt armate cu pulberi sau fibre de carbon, siliciu, bor sau oxid de aluminiu, putându-se prelucra prin mai multe metode.

10.3.3.1. Laminarea compozitelor cu matrice metalică se foloseşte la obținerea unor materiale armate cu fibre lungi, plase sau împletituri, având ca lianți aliaje de cobalt, nichel sau aluminiu. Laminarea se face în stare solidă şi conduce la difuzii interatomice între matrice şi armături. Matricele metalice se desfăşoară de pe tamburii *1* şi *2* (fig.10.17), iar materialul de ranforsare, de pe tamburul *3*, trecând printre cilindrii de laminare *4*, încălziți la o temperatură de

0,2…0,5 din temperatura de topire a materialului matricei. Se realizează astfel o difuzie interatomică a materialelor, dar şi o durificare, astfel că este necesară o normalizare care se face în cuptorul *5*. Semifabricatul este apoi calibrat cu cilindrii de laminare *6* şi se înfăşoară pe tamburul *7*.

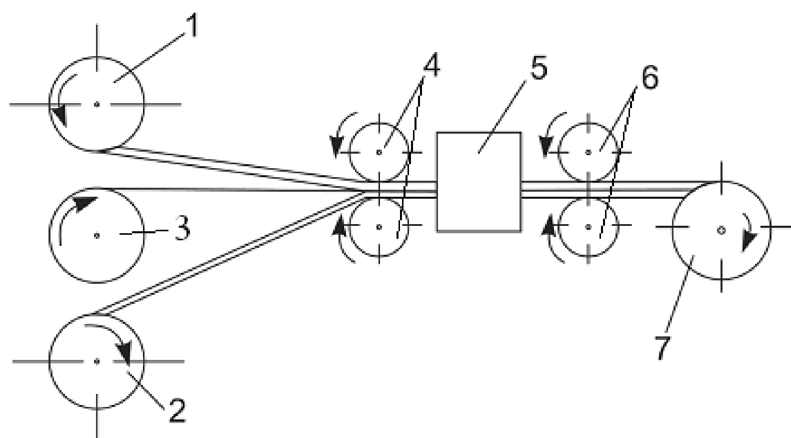


Fig.10.17. Laminarea compozitelor cu matrice metalică.

10.3.3.2. Laminarea compozitelor cu matrice plastică se foloseşte pentru obținerea unor table, plăci sau benzi armate cu fibre tocate sau lungi şi țesături de sticlă, carbon sau kevlar, având matrice termoplaste (polipropilenă, poliamidă, polietilenă). În fig.10.18 se prezintă schema de principiu a unei instalații

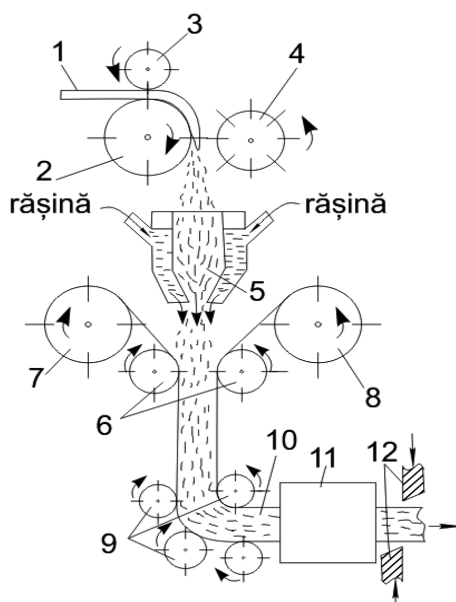


Fig.10.18. Laminarea compozitelor cu matrice plastică.

care foloseşte fibre tocate. Banda *1* este antrenată de rolele *2* şi *3* şi apoi tocată de rola cu cuțite *4*, debitarea fibrelor de ranforsare făcându-se la lungimi de 6…12 mm. Tocătura ajunge în buncărul *5* în care se introduce şi o răşină de impregnare. Amestecul impregnat este laminat cu cilindrii *6* între două folii termoplaste care se derulează de pe tamburii *7* şi *8*. Pentru ca instalația să nu aibă înălțime prea mare, fluxul poate fi derivat pe orizontală cu rolele *9*. Semifabricatul *10* trece apoi prin cuptorul *11* pentru polimerizare şi este debitat, la lungimea dorită, cu foarfeca mecanică *12*.

10.3.3.3. Laminarea compozitelor cu matrice ceramică asigură obținerea benzilor sau tablelor armate cu fibre sau țesături şi cu matrice ceramică. În fig.10.19 se prezintă schema de principiu a laminării compozitelor cu matrice ceramică.

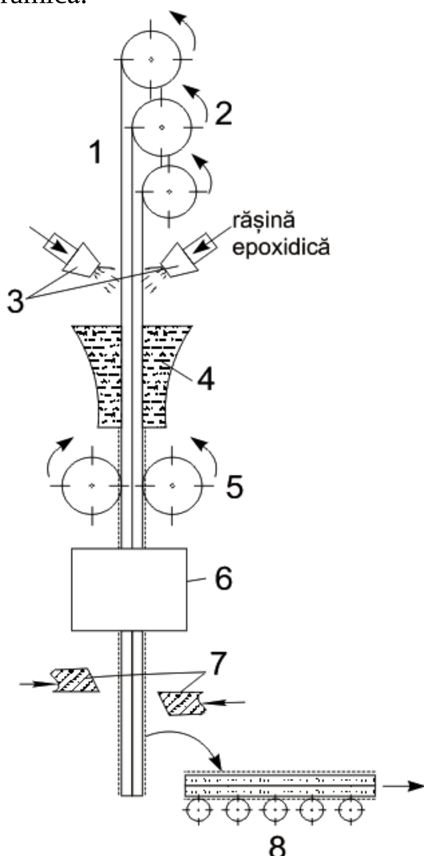


Fig.10.19. Laminarea compozitelor cu matrice ceramică.

Fibrele sau împletiturile de ranforsare *1* se desfăşoară de pe tamburii *2* şi se impregnează cu răşină epoxidică, folosind duzele de stropire *3*. Im-pregnarea este necesară pentru ade-rarea pulberii ceramice din buncărul *4*. Urmează o laminare cu cilindrii *5*, cu viteză mică şi presiune mare, astfel încât pulberea ceramică să se plasti-fieze şi să realizeze legături mecanice cu materialele de ranforsare. Semi-fabricatul trece apoi prin cuptorul electric *6*, unde are loc o presinteri-zare la 700…800 ^{o}C şi, în final, este debitat la lungimea dorită cu foarfeca mecanică *7*. După debitare, produsele sunt preluate de o masă rabatabilă şi depuse pe transportorul cu bandă *8*. Acesta le aduce într-un sector pre-văzut cu cuptoare speciale în care are loc sinterizarea, adică o încălzire la 1700…1850 ^{o}C, timp de mai multe ore, pentru creşterea durității şi a rezistenței la tracțiune, precum şi pen-tru modificarea unor proprietăți fizico-mecanice sau chimice.

Metodele de laminare a compozitelor prezentate mai sus utilizează matrice aflate în stare solidă. Matricele pot fi şi lichide sau semifluide. În continuare, se prezintă şi aceste metode de laminare.

10.3.3.4. Laminarea compozitelor cu matrice lichidă se foloseşte la obţinerea benzilor şi tablelor armate cu fibre sau ţesături de sticlă, grafit, kevlar, bor, carburi metalice şi alumină şi cu matrice metalică sau plastică.

Instalaţia de laminare cu matrice lichidă (fig.10.20) este alcătuită din tamburul *1* de pe care se desfăşoară materialul de ranforsare *2*, baia *3* cu material de impregnare, cilindrii *4* pentru conducerea materialului de ranforsare, creuzetul *5* cu matrice lichidă şi benzile de laminare *6* şi *7*. Matricea lichidă poate fi metalică (cobalt, nichel, aluminiu) sau plastică (policarbonat, poliamidă, poliester, poliacetat, polietilenă, răşină epoxidică). Cilindrii benzilor de laminare sunt încălziţi, temperatura fiind mai ridicată în cazul folosirii matricelor metalice şi mai scăzută pentru cele plastice. Presiunea de laminare este mare (5…15 daN/cm^2), astfel că matricea lichidă formează o interfaţă de legătură cu materialele de ranforsare.

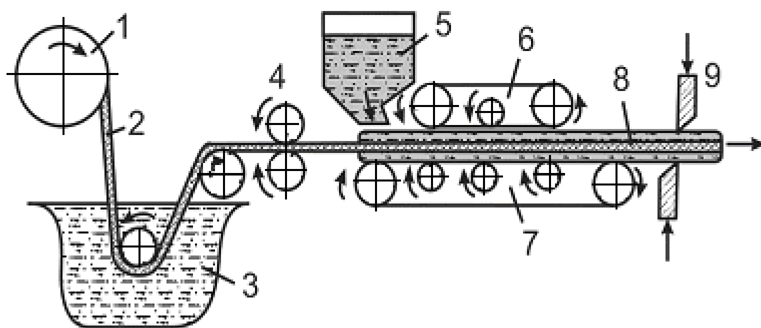


Fig. 10.20. Laminarea compozitelor cu matrice lichidă.

Pentru debitarea semifabricatului compozit *8* la lungimea dorită, se utilizează ghilotina *9*.

10.3.3.5. Laminarea compozitelor cu matrice semifluidă are aceeaşi aplicabilitate ca metoda precedentă, instalaţia fiind alcătuită din rezervorul *1* (fig.10.21) cu mixtură semifluidă, încălzit cu rezistenţa electrică *2*, din care

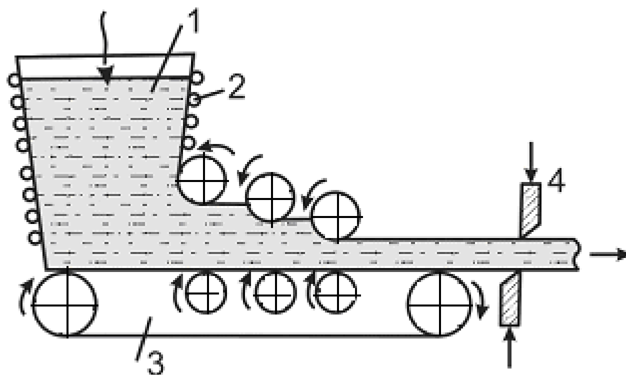


Fig.10.21. Laminarea compozitelor cu matrice semifluidă.

mixtura semifluidă ajunge pe banda de laminare *3* ai cărei cilindri sunt încălziţi la temperaturile prescrise pentru fiecare fel de matrice. Produsul laminat este debitat cu ghilotina *4*.

Mixtura compozită este formată din pulberi sau fibre tocate de SiC şi Al_2O_3, iar matricea este metalică sau plastică.

10.3.4. Presarea

Presarea este procedeul tehnologic de prelucrare care constă în aplicarea unei presiuni de valoare determinată asupra unui material compozit introdus într-o matriță, la cald sau la rece. Ea se aplică atât materialelor solide, cât şi celor lichide sau cu matrice semifluidă.

10.3.4.1. Presarea materialelor în stare solidă se realizează printr-un procedeu asemănător celui utilizat la presarea materialelor plastice la cald (vezi fig.7.4). Materialul compozit se obține prin presarea la cald a unor straturi suprapuse, de tip sandviş, de armături şi matrice care se îmbină prin difuziune atomică. De obicei, presarea se realizează în vid sau în atmosferă controlată. Matricea poate fi metalică sau plastică, iar temperatura de încălzire a matriței este de 0,5…0,9 din temperatura de topire a matricei.

10.3.4.2. Presarea materialelor în stare lichidă îmbină avantajul turnării (topirea mixturii compozite) cu cel al matrițării la cald (folosirea matrițelor şi a presiunii ridicate). Instalația (fig.10.22) este alcătuită din oala de turnare *1*, încălzită cu rezistența electrică *2*, în care se pregăteşte lichidul compozit format din pulberi sau fibre tocate de ranforsare şi o matrice metalică sau plastică. Lichidul compozit este omogenizat cu ajutorul agitatorului rotativ *3*. Prin jgheabul *4*, lichidul compozit este turnat în matrița metalică *5* şi presat cu poansonul *6*. După solidificarea piesei *7*, aceasta este extrasă din matriță cu împingătorul *8*.

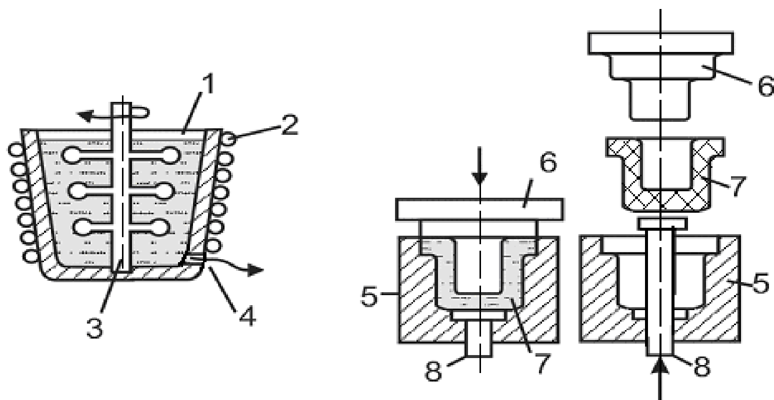


Fig.10.22. Presarea compozitelor lichide.

10.3.4.3. Presarea materialelor cu matrice semifluidă este un procedeu nou, utilizat pentru obținerea unor piese de dimensiuni mici în aeronautică, sectorul feroviar (mobilier pentru vagoane), construcția de automobile (spoilere, rezervoare

de combustibil), precum şi pentru realizarea panourilor solare. Instalaţia de presare (fig.10.23) este formată din semimatriţele *1* şi *2* fixate între plăcile *3* şi *4* şi din cilindrul *5* şi pistonul de presare *6*. Între semimatriţe se introduce de la început materialul de ranforsare, sub formă de ţesătură, iar răşina semifluidă (poliester) este injectată la o presiune de 5 daN/cm^2 cu pistonul *6.*

Procedeul nu este poluant, întrucât în timpul lucrului nu se degajă vapori nocivi, matriţa fiind închisă şi este productiv, putând fi automatizat.

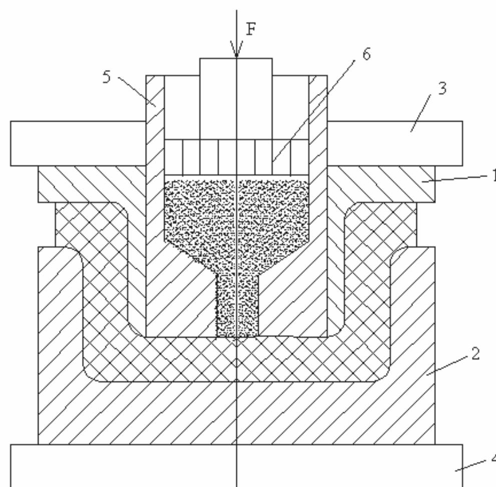


Fig.10.23. Presarea compozitelor cu matrice semifluidă.

10.3.5. Înfăşurarea

Înfăşurarea este un procedeu tehnologic de obţinere a pieselor sau semifabricatelor compozite care constă în rularea materialului de ranforsare (fibre sau ţesături de sticlă, grafit, kevlar sau bor) care se desfăşoară de pe bobinele *1* (fig.10.24), pe cilindrul *2*, confecţionat dintr-un material fuzibil care se elimină la

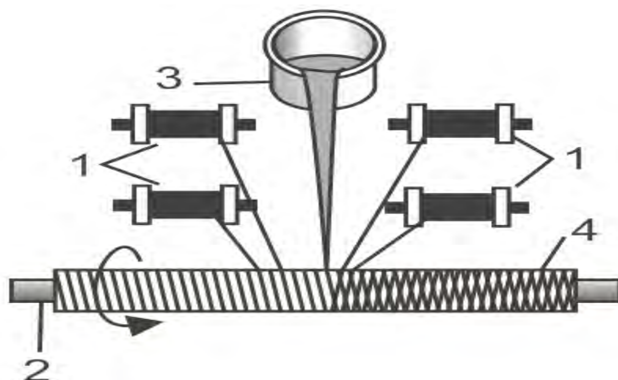


Fig. 10.24. Înfăşurarea.

sfârşitul lucrului sau din segmenți demontabili din cauciuc, lemn sau metal. Există trei scheme de înfăşurare: circulară, polară sau elicoidală, iar pentru maximizarea performanțelor produselor se utilizează mai multe bobine cu material de ranforsare. Țesătura de ranforsare este impregnată cu răşina *3*, obținându-se piesa *4*, cu greutate mică şi rezistență mare.

Procedeul se aplică la fabricarea unor piese de dimensiuni mari: cisterne, conducte, rezervoare sub presiune, pale de elicopter şi turbine eoliene, silozuri.

10.4. Dicționar român-englez-francez de cuvinte-cheie

material compozit	composite material	matériau (*m*) composite
ranfort	reinforcement	renfort (*m*)
matrice	matrix	matrice (*f*)
fibră de sticlă	fiberglass	fibre (*f*) de verre
fibră de carbon	carbon fiber	fibre (*f*) de carbone
fibră de aramidă	aramid fiber	fibre (*f*) d´aramide
fibră de bor	boron fiber	fibre (*f*) de bore
răşină poliesterică	polyester resin	résine (*f*) polyester
răşină vinilesterică	vinylester resin	résine (*f*) vinylester
răşină epoxidică	epoxy resin	résine (*f*) époxidique
răşină fenolică	phenolic resin	résine (*f*) phénolique
răşină poliuretanică	polyurethane resin	résine (*f*) polyuréthane
elastomer	elastomer	élastomère (*m*)
cauciuc natural	natural rubber	caoutchouc (*m)* naturel
cauciuc sintetic	synthetic rubber	caoutchouc (*m)*synthétique
polibutadienă	polybutadiene	polybutadiène (*m*)
cloropren	chloroprene	chloroprène (*m*)
cauciuc stiren-butadienă	styrene-butadiene rubber	caoutchouc (*m*) styrène-butadiène
cauciuc nitrilic	nitrile rubber	caoutchouc (*m*) nitrile
cauciuc butilic	butyl rubber	caoutchouc (*m*) butilique
matrice organică	organic matrix	matrice (*f*) organique
matrice plastică	plastic matrix	matrice (*f*) plastique
matrice metalică	metal matrix	matrice (*f*) métallique
matrice ceramică	ceramic matrix	matrice (*f*) céramique
materiale avansate	advanced materials	matériaux (*m*) avancés
material stratificat	stratified material	matériau (*m*) stratifié
material sandviş	sandwich material	matériau (*m*) sandwich
lemn	wood	bois (*m*)
furnir	placage	placage (*m*)
placaj	plywood	contreplaqué (*m*)
panel	blockboard	panneau (*m*) latté
parchet stratificat	laminate flooring	parquet (*m*) stratifié
placă aglomerată din lemn (PAL)	medium density fiberboard (MDF)	panneau (*m*) de fibres à densité moyenne

placă fibrolemnoasă (PFL)	oriented strand board (OBS)	panneau (*m*) de grandes particules orientées
beton	concrete	béton (*m*)
beton armat	reinforced concrete	béton (*m*) armé
beton precomprimat	prestressed concrete	béton (*m*) précontraint
beton refractar	refractory concrete	béton (*m*) réfractaire
beton bituminos	bituminous concrete	béton (*m*) bitumineux
beton antiacid	anti acid concrete	béton (*m*) anti-acide
beton celular	aerated concrete	béton (*m*) cellulaire
formare manuală	manual molding	moulage (*m*)
turnare	casting	coulage (*m*); coulée (*f*)
turnare centrifugă	centrifugal casting	coulée (*f*) centrifuge
turnare sub presiune	casting under pressure	coulée (*f*) sous pression
turnare continuă	continuous casting	coulée (*f*) continue
laminare	rolling	laminage (*m*)
presare	pressing	pressage (*m*)
înfăşurare	winding	enroulement (*m*)

BIBLIOGRAFIE

1. **Abramovici, R.** – *Materii prime ceramice* (2 vol.), Institutul Politehnic *„Traian Vuia*” din Timişoara, 1974.
2. **Achimfa, Şt.** - *Materiale metalice cu proprietăţi speciale*, Reprografia Universităţii *„Dunărea de Jos"* din Galaţi, 1999.
3. **Alămoreanu, E.**, **Constantinescu, D.M.** – *Proiectarea plăcilor compozite laminate*, Editura Academiei Române, Bucureşti, 2005.
4. **Aliprandi, G.** – *Matériaux réfractaires et céramiques tehniques*, Editions Septima, Paris, 1979.
5. **Ambos, E.** - *Urformtechnik metallisher Werkstoffe*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1982.
6. **Amza, Gh., Dumitru, G.M., Rîndaşu, V.O.** - *Tehnologia materialelor* (vol.I), Editura Tehnică, Bucureşti, 1997.
7. **Amza, Gh., Rîndaşu, V.O., Dumitru, G.M., Amza, C.Gh.** - *Tratat de tehnologia materialelor* (2 vol.), Editura Academiei Române, Bucureşti, 2002.
8. **Anghel-Sprânceană, F., Popescu, M.O.** - *Tehnologii electromecanice*, Litografia Universităţii *„Politehnica"* din Bucureşti, 1998.
9. **Arabagian, O., Olaru, Gh., Budeanu, A., Todor,** N. - *Studiul materialelor folosite în minerit*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1967.
10. **Arzamasov, B.** – *Materials Science*, MIR Publishers, Moscow, 1989.
11. **Axenov, P.N.** - *Turnătoria* (traducere din limba rusă), Editura Tehnică, Bucureşti, 1954.
12. **Badea, S.** - *Forjarea şi extruziunea materialelor metalice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1980.
13. **Baïlon, J.P., Dorlot, J.M.** – *Des matériaux* (3e édition), Presses Internationales Polytechnique, Montreal, 2002.
14. **Bain, E.C., Paxton, H.W.** - *Les éléments d'addition dans l'acier*, Dunod, Paris, 1968.
15. **Béres, L., Komócsin, M.** - *Acélok, öntöttvasak javító-és felrakóhegesztése*, ESAB Kft., Budapest, 1995.
16. **Bernstein, M.L.** - *Structura deformirovannîh metallov*, Metallurghia, Moskva, 1975.
17. **Berthelot, J.M.** – *Matériaux composites: comportement mécanique et analyse des structures* (4e édition), Lavoisier, 2005.
18. **Bobkov, A.S., Juraviev, V.S.** – *Proizvodstvennaia bezopasnosti v rezinovoi promîşlennosti*, Izdatelstvo Himmiia, Leningrad, 1980.
19. **Bohosievici, C.** (sub coordonarea) - *Dicţionar poliglot de metalurgie şi construcţii de maşini*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1996.
20. **Bolgojin, Ş.A., Altaev, Ş.A., Musin, A.M.** – *Sozdanie i primenenie gornogo oborudovaniia iz plastmass v Karagandinskom basseine*, Izdatelstvo Nauka, Alma-Ata, 1977.
21. **Bolunduţ, I.L.** - *Începuturile siderurgiei pe teritoriul românesc*,

Simpozionul *„Georgius Agricola - 500 de ani de la naştere",* Universitatea Tehnică din Petroşani, 24 martie 1994.
22. **Bolunduţ, I.L.** – *Materiale metalice*, Editura AGIR, Bucureşti, 2004.
23. **Bolunduţ, I.L.** - *Tehnologia materialelor şi maşini-unelte,* Litografia Institutului de Mine din Petroşani, 1985.
24. **Bolunduţ, I.L., Dumitrescu, I.** – *Maşini – unelte şi prelucrări prin aşchiere,* Editura Tehnica-Info, Chişinău, 1999.
25. **Bortnikov, V.G.** – *Osnovî tehnologhii pererabotki plasticeskih mass,* Izdatelstvo Himiia, Leningrad, 1983.
26. **Bourban, P.E., Carlsson, L., Mercier, J.P., Månson, J.A.** – *Matériaux composites à matrice organique: constituant, procédés, propriétés,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2004.
27. **Brabie, V., Avram, N., Moldovan, P.** - *Elaborarea aliajelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1978.
28. **Brandt, N.B., Ciudinov, S.M.** - *Elektronaia struktura metallov,* Izdatelstvo Moskovskovo Universiteta, Moskva, 1973.
29. **Brozzo, P.** - *Struttura e proprietà meccaniche dei materiali metallici,* ECIG, Genova, 1979.
30. **Budinski, K.G.** - *Engineering Materials - Properties and Selection,* Library Publishing Company, New Jersey, 1992.
31. **Budnikov, P.P., Berejnoi, A.S., Bulavin, I.A., Grissik, B.M., Kukolev, G.V., Poluboiarinov, D.N.** – *Tehnologia produselor ceramice şi refractare,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1960.
32. **Burdese, A.** - *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici,* UTET, Torino, 1992.
33. **Cahn, R.W.** - *Physical Metallurgy,* American Elsevier Publishing Company, New York, 1970.
34. **Cahn, R.W., Haasen, P., Kramer, E.J.** - *Materials Science and Technology,* MacMillan Publishing Company, New York, 1991.
35. **Calea, Gh., Drimer, D., Amza, Gh., Gladcov, P.** - *Tehnologie mecanică,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1978.
36. **Callister, W.D.Jr.** – *Materials Science and Engineering – An Introduction,* Ed. John Wiley & Sons (5th edition), New York, 2000.
37. **Cazaud, R., Le Roux, R.** - *Métallurgie. Aide Memoire,* Dunod, Paris, 1970.
38. **Cazimirovici, E., Negulescu, I., Târcolea, M., Răducanu, D.** - *Teoria şi tehnologia deformării prin tragere,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1990.
39. **Cătuneanu, V.M.** (sub coordonarea) - *Materiale pentru electronică,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.
40. **Chermant, J.L.** – *Les céramiques thermomécaniques,* Presses du CNRS, Paris, 1989.
41. **Cheşa, I., Laşcu-Simion, N., Mureşeanu, C, Rizescu, C, Teodorescu, M.S.** - *Mărci şi produse din oţel,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1989.
42. **Cheşa, L, Laşcu-Simion, N., Nedelcu, C, Rizescu, C, Teodorescu, M.S.** - *Alegerea şi utilizarea oţelurilor,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1984.

43. **Ciobanu, R.C., Căliman, R.** – *Tehnologia materialelor şi sistemelor compozite*, Rotaprintul Universității din Bacău, 1994.
44. **Cojocaru-Filipiuc, V.** - *Fonte. Obținere*, Editura Samia, Iaşi, 2002.
45. **Colan, H., Tudoran, P., Ailincăi, Gh., Marcu, M., Drugescu, E.** – *Studiul metalelor*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1983.
46. **Colombié, M.** – *Practique de matériaux industriels: propriétés, choix, utilisation*, Dunod, Paris, 1990.
47. **Colombier, L., Hochmann, J.** - *Aciers inoxidables, aciers refractaires*, Dunod, Paris, 1965.
48. **Constantinescu, A**. - *Criterii de alegere rațională a oțelurilor*, OID-ICM, Bucureşti (vol.I - 1998, vol.II - 1998, vol.III - 1999).
49. **Constantinescu, A.** - *Fluajul metalelor*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1970.
50. **Crăciunescu, M.** – *Materiale compozite*, Editura SEDONA, Timişoara, 1998.
51. **Crişan, A.** - *Elaborarea şi turnarea fontelor*, Reprografia Universității *„Transilvania "* din Braşov, 1996.
52. **Croft, D.N.** – *Heat Treatment of Welded Steel Structures*, Abington Publishing, Cambridge, 1996.
53. **Cuida, O.** - *Fabricarea țevilor de oțel prin laminare şi tragere la rece*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1991.
54. **Dennis, W.H.** -*Metallurgy of Nonferrous Metals*, London, 1960.
55. **De Sy, A.V.** - *Métallurgie structurale théorique et appliquée*, Dunod, Paris, 1962.
56. **Dieter, E.G. jr.** - *Metalurgie mecanică* (traducere din limba engleză -SUA), Editura Tehnică, Bucureşti, 1970.
57. **Dimitriu, S., Gheorghe, C, Dimitriu, A., Buțu, M.** - *Tratamentul termic al îmbinărilor sudate*, Editura BREN, Bucureşti, 2002.
58. **Dinu, M.** - *Metale de înaltă puritate*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.
59. **Dobrovici, D., Prisecaru, I., Banciu, M.** - *Metalurgia fontei*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1966.
60. **Dobrowołski, J.A.** – *Concrete Construction Handbook* (fourth edition) – McGraw-Hill, 1998.
61. **Domşa, Al., Pálfalvi, A., Nicolae, V., Botha, L., Colan, H., Buzoianu, P. -** *Tehnologia fabricării pieselor din pulberi metalice*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1966.
62. **Domşa, Ş., Miron, Z.** - *Îndrumător pentru utilizarea fontelor, oțelurilor şi aliajelor neferoase*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1985.
63. **Dondik, I.G.** - *Mehaniceskie ispîtania metallov*, Izdatelstvo Akademii Nauk Ukrainskoi SSR, Kiev, 1962.
64. **Drăgan, I., Ilca, I., Badea, S., Cazimirovici, E.** - *Tehnologia deformărilor plastice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.
65. **Dulămiță, T., Vermeşan, G., Munteanu, Al., Vasile, T., Catrinoiu, C., Prejban, I.** - *Tehnologia tratamentelor termice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.
66. **Dumitraş, C., Opran, C.** – *Prelucrarea materialelor compozite, ceramice şi*

minerale, Editura Tehnică, Bucureşti, 1992.
67. **Du Trémolet de Lacheisserie** (sous la direction de) – *Magnétisme - Matériaux et applications,* EDP Sciences, Grenoble, 1999.
68. **Effing, M.** – *Rechnerunterstutzte Anlegung und Fertigung von Faserverbundbauteilen*, Diss. T. H., Aachen, 1988.
69. **Eisenstadt, M.M.** - *Introduction to Mechanical Properties of Materials,* MacMillan Publishing Company, New York, 1981.
70. **Fetecău, C., Oancea, N., Stan, F.** – *Prelucrarea mecanică a maselor plastice*, Oficiul de Informare Documentară pentru Industria Construcţiilor de Maşini, Bucureşti, 2000.
71. **Fiterău, V.** - *Metalografie şi proprietăţile metalelor,* Reprografia Universităţii din Braşov, 1979.
72. **Fleşer, T.** - *Modificarea stării oţelurilor supuse solicitărilor termomecanice,* Editura Politehnica, Timişoara, 2002.
73. **Flinn, R.A., Trojan, P.K.** – *Engineering Materials and their Applications* (3rd edition), Houghton Mifflin, Boston, 1986.
74. **François, D.** – *Endommagements et rupture de matériaux*, EDP Sciences, 2004.
75. **Frey, H.** - *Dünnschichttechologie,* VDI Verlag, Düsseldorf, 1987.
76. **Gale, W.F., Totemeier, T.C.** – *Smithells Metals Reference Book* (8th edition), ASM International, 2004.
77. **Gâdea, S., Petrescu, M.** - *Metalurgie fizică şi studiul metalelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.
78. **Gâdea, S., Protopopescu, M.** - *Aliaje neferoase,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1966.
79. **Geller, Y.A.** – *Tool Steels*, MIR Publishers, Moscow, 1978.
80. **Georgescu, G.S.** - *Îndrumător pentru ateliere mecanice* (ediţia a V-a), Editura Tehnică, Bucureşti, 1972.
81. **Geru, N**. - *Proprietăţile metalelor şi metode fizice de control,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1991.
82. **Geru, N., Bane, M., Coşmeleaţă, G., Gurgu, C, Marin, M.** - *Analiza structurii materialelor metalice*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1991.
83. **Geru, N., Chircă, D., Bane, M., Ripoşan, L, Marin, M., Coşmeleaţă, G., Biolaru, T.** - *Materiale metalice. Structură. Proprietăţi. Utilizări,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1985.
84. **Gheorghe, C., Ştefan, M.** - *Îndreptar de metale. Obţinere. Proprietăţi. Utilizări*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1997.
85. **Gheorghieş, C.** - *Controlul structurii fine a metalelor cu radiaţii X,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1990.
86. **Gherasimov, V.V., Monahov, A.S.** - *Materialî iadernoi tehniki,* Energoizdat, Moskva, 1982.
87. **Giacomelli, I., Munteanu, A.** – *Tratamente termice*, Reprografia Universităţii din Braşov, 1980.
88. **Gladcov, P., Petrovici, A., Alexandrescu, V., Cosmulescu, D.** - *Tehnologia*

materialelor (vol. I, II), Fundația PROINVENT a Universității *„ Politehnica "* din Bucureşti, 1998.

89. **Gontean, A., Gontean, Z.** – *Considerații generale privind utilizarea materialelor plastice în minerit*, Litografia Institutului de Mine, Petroşani, 1978.
90. **Gorelik, S.S.** – *Recrystallization in Metals and Alloys,* MIR Publishers, Moscow, 1981.
91. **Grămescu, T., Slătineanu, L., Braha, V., Sârbu, I.** - *Prelucrabilitatea materialelor,* Editura Tehnica-Info, Chişinău, 2000.
92. **Guliaev, A.D.** - *Metallovedenie,* Metallurghizdat, Moskva, 1967.
93. **Gurevici, S.M.** - *Spravocinik po svarke țvetnîh metallov,* Izdatelstvo Naukova Dumka, Kiev, 1981.
94. **Gutt, G., Palade, D.D., Gutt, S., Klein, F., Schmitt, K.T.** - *Încercarea şi caracterizarea materialelor metalice,* Editura Tehnică, Bucureşti, 2002.
95. **Haussonne, J.M.** – *Céramiques pour l´électronique et l´électrotechnique* (2e édition), Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2002.
96. **Hătărăscu, O.** - *Drumul fierului,* Editura Albatros, Bucureşti, 1985.
97. **Hătărăscu, O., Vlădescu, M., Scorțea, C., Cuida, O., Ancuț, R.** - *Îndreptar de metalurgie,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.
98. **Higgins, R.A.** – *Engineering Metallurgy,* ELBS, Kent, 1986.
99. **Horun, S., Păunică, T., Sebe, O.M., Şerban, S.** – *Memorator de materiale plastice,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.
100. **Huheey, J., Keiter, E., Keiter, R.** – *Chimie inorganique* (traduit de l´anglaise), De Boeck &Larcier s.a., Paris, Bruxelles, 1996.
101. **Iancău, V., Nica, D.** - *Tratamente termice cu azot şi carbon,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1999.
102. **Iclănzan, T. –** *Plasturgie* - *Tehnologia prelucrării materialelor plastice.* Centrul de Multiplicare al Universității Tehnice din Timişoara, 1995.
103. **Ienciu, M., Moldovan, P., Panait, N., Buzatu, M.** – *Elaborarea şi turnarea aliajelor neferoase speciale*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1985.
104. **Ifrim, A., Noțingher, P.** - *Materiale electrotehnice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1992.
105. **Iordănescu, P.** - *Metalul înaripat*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1989.
106. **Ispas, Şt.** – *Materiale compozite*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1987.
107. **Jaoul, D.B.** – *Etude de la plasticité et application aux métaux,* Presses de l´École des Mines de Paris, 2008.
108. **Jinescu, V.V.** – *Proprietățile fizice şi termomecanica materialelor plastice* (2 vol.), Editura Tehnică, Bucureşti, 1979.
109. **Jutz, H., Scharkus, E.** – *Westerman Tables for the Metal Trade,* New Age International Publishers, New Delhi, 2006.
110. **Kachanov, L.M.** - *Fundamentals of the Theory of Plasticity,* Mir Publishers, Moscow, 1974.
111. **Kathrein, A., Moldovan, P.** - *Utilajul şi tehnologia de elaborare şi turnare*

a aliajelor neferoase, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1980.
112. **Kern, R.F., Suess, M.E.** - *Steel Selection,* J. Willez & Sons, New York, 1979.
113. **Koller, E.** – *Dictionnaire encyclopédique du génie des procédés*, Éditions Dunod, 2006.
114. **Koller, E.** _ *Dictionnaire encyclopédique des sciences des matériaux*, Éditions Dunod, 2008.
115. **Krauss, G.** - *Principles of Heat Treatment of Steel,* American Society for Metals Park, Ohio, 1980.
116. **Krenkel, W.H.** – *Ceramic matrix composites: fiber reinforced ceramics and their applications,* John Wiley, New York, 2008.
117. **Krishna Reddy, L.** – *Principles of Engineering Metallurgy*, New Age International Publishers, New Delhi, 1996.
118. **Kulshreshtha, A.K., Vasile, C.** – *Handbook of Polymer Blends and Composites* (vol.2), Rapra Technology Ltd., Shawbury, 2002.
119. **Kurz, W., Mercier, J.P., Zambelli, G.** - *Introduzione alla Scienza dei Materiali,* Ed. Hoepli, Milano, 1994.
120. **Lachnitt, J.** – *Les matériaux réfractaires*, Presses Universitaires de France, Paris, 1983.
121. **Lee, S.** - *Dictionary of Composite Materials Technology*, CRC Press LLC, Palo Alto, California, 1995.
122. **Magyari, A.** – *Utilaje de preparare a substanţelor minerale utile*, Editura Tehhnică, Bucureşti, 1983.
123. **Mihalcu, M.** – *Materiale plastice armate*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1986.
124. **Million, A., Million, C.** - *Lipirea şi aliaje de lipit*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1975.
125. **Milon, M.C.** – *Glossaire du traitement thermique* (3e édition), Dunod / Pyc Éditions, 2007.
126. **Miloşan, I.** - *Procedee unitare în metalurgie,* Reprografia Universităţii *„Transilvania"* din Braşov, 1998.
127. **Moga, A.** - *Materiale în construcţia de maşini*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1964.
128. **Moldovan, P., Brabie, V., Tocaci, L., Badea, S., Nagy, I., Cazimirovici, E., Florian, E.** - *Tehnologii metalurgice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.
129. **Moldovan, V., Maniu, A.** - *Utilaje pentru deformări plastice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.
130. **Mougin, J.P.** – *Béton armé,* Eyrolles, 2000.
131. **Murray, G.T.** - *Introduction to Engineering Materials,* Library Publishing Company, New York, 1992.
132. **Murri, G.** – *Aide-mémoire. Métallurgie, métaux, alliages, propriété.* Dunod, Paris, 2004.
133. **Nanu, A.** - *Tehnologia materialelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1977.

134. **Nardin, M.** - *Metalele şi alte elemente de înaltă puritate,* Editura Academiei Române, Bucureşti, 2002.
135. **Nardin, M.** - *Constituția aliajelor binare* (ediția a II-a), Bucureşti, 2002.
136. **Natterer, J., Sandoz, J.L., Rey, M.** – *Construction en bois. Matériaux, technologie et dimensionnement,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2005.
137. **Nica, A.** – *Ceramica tehnică,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.
138. **Nicolae, A., Luca, V., Ilie, A., Calea, Gh. Gh.** – *Materiale ceramice refractare pentru instalații termotehnologice,* Editura Fair Pertners, Bucureşti, 1999.
139. **Nocivin, A.** – *Materiale avansate: materiale compozite; materiale metalice cu proprietăți speciale, „Ovidius*" University Press, Constanța, 2001
140. **Oprea, F.** - *Teoria proceselor metalurgice. Metale neferoase,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1966.
141. **Oprea, F., Ilinescu, E., Segărceanu, T., Vişa, I.** - *Metalurgiile elementelor însoțitoare ale metalelor neferoase uzuale,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1968.
142. **Oprea, F., Oprea, S., Olaru, F.** - *Metalurgia plumbului, cuprului şi zincului,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1965.
143. **Oprea, F., Taloi, D., Constantin, I., Roman, R.** - *Teoria proceselor metalurgice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1978.
144. **Pálfalvi, A., Mehedințeanu, M., Andrei, E., Nicolae, V., Breştin, A., Şontea, S., Floriganță, Gh.** - *Tehnologia materialelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1985.
145. **Pawłowski, L.** – *Dépôts physiques: Techniques, microctructures et propriétés,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lousanne, 2003.
146. **Păunel, M.A.** - *Combaterea coroziunii structurilor din oțel supraterane,* Editura BREN, Bucureşti, 2002.
147. **Pešina, E.** - *Zaklady ujite teorie plastițiti,* Nakladatelstvi Techničke Literatury, Praha, 1966.
148. **Petitet, G., Barquins, M.** – *Matériaux caoutchouteux,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2008.
149. **Philibert, J., Vignes, A., Bréchet, Y., Combrade, P.** – *Métallurgie, du minerai au matériau,* (2e édition), Dunod, Paris, 2002.
150. **Picoş, C., Coman, Gh., Slătineanu, L., Grămescu, T.** - *Prelucrabilitatea prin aşchiere a aliajelor feroase,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1981.
151. **Popa, A., Olaru, P.** - *Plumbul şi zincul,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1975.
152. **Popescu, I., Dumitraş, C., Savu, T., Dumitrescu, A., Purcărea, M., Tonoiu, S.** – *Tehnologia prelucrării pieselor din materiale clasice şi compozite* (2 vol.), Editura MATRIX ROM, Bucureşti, 2000.
153. **Popescu, N., Şaban, R., Bunea, D., Pencea, I.** – *Ştiința materialelor pentru ingineria mecanică* (vol.2), Editura Fair Partners, Bucureşti, 1999.
154. **Popescu, V.I., Chiriac, C.** - *Oțeluri rapide,* Editura AGIR, Bucureşti, 2002.
155. **Pumnea, C., Ioniță, N., Şontea, S.** - *Tehnologii din industria metalurgică şi*

prelucrătoare, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.
156. **Quevron, L., Quedin, L.** - *Cours de métallurgie,* Eyrolles, Paris, 1972.
157. **Radhakrishnan, V.M.** – *Welding Technology & Design*, New Age International Publishers, New Delhi, 2005.
158. **Rakhit, A.K**. – *Heat Treatment of Gears – A Practical Guide for Engineers,* ASM International, 2000.
159. **Rădoi, M., Huzum, N., Rantz, G., Baciu, E., Crivac, Gh., Dinică, C., Dragomir, I.** - *Recondiţionarea pieselor,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1986.
160. **Rău, A., Vacu, S.** - *Elaborarea oţelurilor de scule,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1964.
161. **Reed, R.E.** - *Physical Metallurgy Principles,* Van Nostrand, New York, 1977.
162. **Reinboth, H.** - *Technologie und Anwendung magnetischer Werkstoffe,* VEB Verlag Technik, Berlin, 1970.
163. **Richards, C.W.** - *La science des matériaux de l'ingénieur,* Dunod, Paris, 1965.
164. **Rolfe, R.T.** - *A Dictionary of Metallography,* Chapman & Hall Ltd., London, 1949.
165. **Sălăgean, T.** - *Oţeluri pentru construcţii sudate,* Editura Facla, Timişoara, 1974.
166. **Shekelford, J.F.** - *Introduction to Materials Science for Engineers,* MacMillan Publishing Company, New York, 1992.
167. **Shriver, D.F., Atkins, P.W., Overton, T.L., Rourke, J.P., Weller, M.T., Armstrong, F.A.** – *Inorganic Chemistry,* WH Freeman, New York, 2006.
168. **Simionescu, Gh.** – *Tehnologia materialelor: materiale plastice; acoperiri de protecţie,* Editura Alma Mater, Bacău, 2001.
169. **Singh, O., Bhavikatti, S.S.** – *Introduction to Mechanical Engineering,* New Age International Publishers, New Delhi, 2006.
170. **Smithels, C.J.** - *Metals Reference Book* (5th edition), Butterworths, London-Boston, 1978.
171. **Sofroni, L.** - *Elaborarea şi turnarea aliajelor. Fonte, oţeluri şi aliaje neferoase,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1975.
172. **Spur, G.** – *Keramikbearbeitung,* Carl Hauser Verlag, München, 1989.
173. **Srivastava, C.M., Srinivasan, C.** - *Science of Engineering Materials*, New Age International Publishers, New Delhi, 1997.
174. **Stanimir, A.** - *Aşchierea oţelurilor cu duritate mare,* Editura Universitaria, Craiova, 1997.
175. **Stoian, L., Pálfalvi, A., Nicolae, V., Maniu, A.** - *Tehnologia materialelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1980.
176. **Stoica, V., Stoica, N.** - *Utilizarea raţională a materialelor* (vol I*),* OID-ATMCGF, Bucureşti, 1979.
177. **Strojev, M.B.** - *Teoria obrabotki metallov dovleniem,* Maşinostroenie, Moskva, 1971.
178. **Şaban, R., Vasile, T., Bunea, D., Gheorghe, D., Brânzei, M., Ioniţă, Gh.** -

Studiul şi ingineria materialelor, Editura Didactică şi Pedagogică R.A., Bucureşti, 1995.
179. **Şahrai, M.L.** - *Peredovie tehnologhiceskie proţesî* v *maşinostroenii,* Maşghiz, Moskva, 1950.
180. **Ştefănescu, F., Neagu, G., Mihai, A.** – *Materiale compozite,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1996.
181. **Teoreanu, I., Ciocea, N.** – *Tehnologia produselor ceramice şi refractare,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1985.
182. **Toderaş, M.** – *Încercări pe materiale*, Editura Focus, Petroşani, 2008.
183. **Totten, G.E.** – *Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies* (2^{th} edition), CRC Press, New York, 2006.
184. **Truşculescu,** M. - *Studiul metalelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1977.
185. **Truşculescu, M., Ieremia, A.** - *Oţeluri inoxidabile şi refractare,* Editura Facla, Timişoara, 1983.
186. **Ursache, M., Chircă, D.** - *Proprietăţile metalelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.
187. **Vacu, S., Dragomir, I., Oprea, S.** - *Metalurgie generală,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1975.
188. **Voicu, M., Gladcov, P., Amza, Gh., Szel, P., Drimer, D., Iova, R.** - *Tehnologia materialelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1981.
189. **Wegst, C.W.** - *Stahlschüssel,* Verlag Stahlschüssel Wegst GMBH, Marbach, 1985.
190. *** * * -** *Catalogul standardelor române - 2003,* Editura ASRO, Bucureşti, 2004.
191. *** * * -** *Dicţionar cronologic al ştiinţei şi tehnicii universale,* Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1979.
192. *** * * -** *Dubbel. Manualul inginerului mecani*c (traducere din limba engleză), Editura Tehnică, Bucureşti, 1998.
193. *** * * -** *Fonte şi oţeluri turnate (CSCM-F_0),* Culegere de standarde comentate, OID-ICM, Bucureşti, 1996.
194. *** * * -** *Hütte. Manualul inginerului* (traducere din limba germană după ediţia a 29-a), Editura Tehnică, Bucureşti, 1995.
195. *** * * -** *Les céramiques industrielles,* Etude réalisée par Centre d`Animation Regional en Matériaux Avancés, France, 1999.
196. *** * * -** *Lexiconul tehnic român* (vol. 1...18), Editura Tehnică, Bucureşti, 1957...1966.
197. *** * * -** *Manualul inginerului metalurg* (2 vol.), Editura Tehnică, Bucureşti, 1978 (vol. I) şi 1982 (vol. II).
198. *** * * -** *Materiale plastice (CSCM – Mp_4, CSCM – MP_5, CSCM – Mp_6), Culegeri de standarde comentate,* OID – ICM, Bucureşti, 1998.
199. *** * * -** *McGraw – Hill Encyclopedia of Science and Technology* (7th edition), New York, 1992 (vol. 1... 20).

200. *** * * -** *Metale şi aliaje neferoase (CSCM-N_1 CSCM-N_2, CSCM-N_3), Culegere de standarde comentate,* OID-ICM, Bucureşti, 1994.
201. *** * * -** *Metals Handbook, Non-ferrous Metals*, Ohio, 1980.
202. *** * * -** *Mică enciclopedie de metalurgie,* Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1980.
203. *** * * -** *Oţeluri (CSCM-O_1 CSCM-O_2, CSCM-O_3, CSCM-O_4),* Culegere de standarde comentate, OID-ICM, Bucureşti, 1994-1995.
204. *** * * -** *Teoreticeskie: eksperimentalnîe isspledovaniia abrazivnîh materialov*, Academiia Nauk SSSR. Uralskii Naucinîi Ţentr, Sverdlovsk, 1982.
205. *** * * -** *The New Encyclopœdia Britannica*, (15th edition), Chicago, 1994
206. *** * * -** *Welt-Bergbau Daten,* Reihe A, Heft 11, Wien, 1996.



Prof.univ.dr.ing. Ioan-Lucian BOLUNDUŢ, născut la 20 decembrie 1947, în comuna Bucium, judeţul Alba, este absolvent al Liceului „Horia, Cloşca şi Crişan" din Abrud, în anul 1966 şi al Facultăţii de Electromecanică Minieră a Institutului de Mine din Petroşani, în anul 1971. După terminarea facultăţii, lucrează la Întreprinderea Minieră Moldova Nouă, până în 1977, când devine asistent la Catedra de Maşini Miniere a Institutului de Mine din Petroşani.

Şef de lucrări în anul 1980, conferenţiar în 1990, devine în anul 2000 profesor la Universitatea din Petroşani, în prezent fiind titularul disciplinelor Ştiinţa şi ingineria materialelor, Tehnologia materialelor şi Maşini-unelte şi Prelucrări prin aşchiere. A obţinut titlul ştiinţific de doctor-inginer în anul 1982, cu teza intitulată „Contribuţii asupra îmbunătăţirii construcţiei instalaţiilor mobile de perforat pentru săparea lucrărilor miniere subterane".

A publicat cinci cărţi ca unic sau principal autor, din care una în străinătate, precum şi 90 de lucrări ştiinţifice, din care 15 în străinătate. În domeniul activităţii tehnice a participat la elaborarea a 45 de studii executate pe bază de contracte de cercetare ştiinţifică, încheiate cu unităţi de cercetare, proiectare şi producţie din ţară. A participat la numeroase simpozioane şi conferinţe ştiinţifice naţionale şi internaţionale.

Este secretar ştiinţific al Consiliului Facultăţii de Inginerie Mecanică şi Electrică a Universităţii din Petroşani, editorul publicaţiei ştiinţifice „Annals of the University of Petroşani" care are cinci secţiuni şi membru al mai multor asociaţii profesionale şi ştiinţifice din România.

ISBN: 978-9975-63-313-0